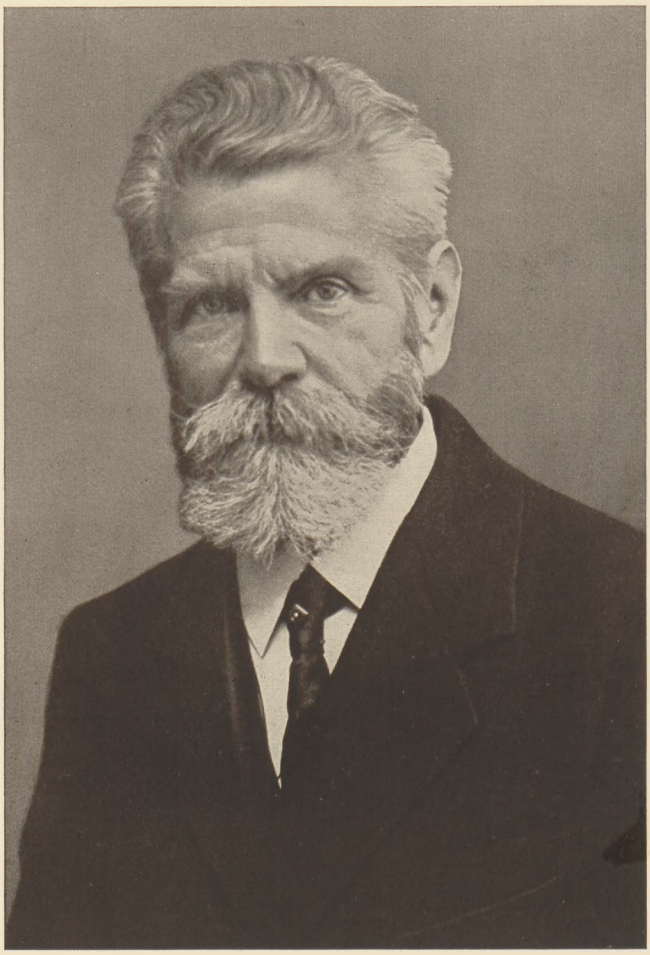


Otto Ohmann.

Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XXXVI. Jahrgang. 1923. Viertes Heft.

Otto Ohmann zum siebzigsten Geburtstage.

Otto Ohmann ist am 22. Oktober 1853 zu Berlin geboren, er stammt aus einer künstlerisch reichbegabten Familie und verdankt dieser Herkunft sein schönes musikalisches und sein zeichnerisches Talent. Er hat in seiner Vaterstadt Naturwissenschaften und Mathematik studiert und damals schon besonders auch der Mineralogie und Geologie sein Interesse zugewandt. Seine Lehrtätigkeit hat er 1881 am Humboldtgymnasium zu Berlin begonnen und ist 1903 an das Dorotheenstädtische Realgymnasium übergegangen, wo er bis zu seiner Versetzung in den Ruhestand zu Ostern 1921 verblieb. Mitarbeiter dieser Zeitschrift ist er seit dem 6. Jahrgang (1892/3) gewesen, sein erster Originalbeitrag erschien im 8. Jahrgang (1894/5) und behandelte das Einleiten chemischer Prozesse mittels glühenden Metalles. Von derselben Zeit an hat er wertvolle Hülfe bei der Herstellung der Zeitschrift geleistet; nach dem Tode Bernhard Schwalbes 1901 trat er als Mitherausgeber an dessen Stelle und hat seitdem besonders für den chemischen Teil dem Herausgeber beratend zur Seite gestanden. Ein großes Verdienst um die Leser der Zeitschrift hat er sich durch die sorgfältige Bearbeitung der drei Registerhefte für die ersten 30 Jahrgänge erworben, deren Zuverlässigkeit und übersichtliche Stoffanordnung allgemeinen Beifall gefunden hat.

Auf die zahlreichen Veröffentlichungen Ohmanns in dieser Zeitschrift und an anderen Stellen näher einzugehen oder sie auch nur aufzuzählen, verbietet die Knappheit des Raumes; daß er noch immer forschend und sinnend tätig ist, beweist der Beitrag, den er zu diesem Heft beigesteuert hat. Namentlich gedacht sei hier seiner Bemühungen um die Unfallverhütung im chemischen Unterricht, die zur Abfassung einer Merktafel über diesen Gegenstand sowie zur Abhaltung chemischer Experimentierkurse in amtlichem Auftrage geführt haben. Auch in Beiträgen zur chemischen Forschung hat er sich mehrfach betätigt. Von außerhalb der Chemie liegenden Leistungen hat sein Feldwinkelmesser (in *dieser Zeitschr. 22, 34* angezeigt) weite Verbreitung gefunden. Auch seinen zoologischen Zeichentafeln, die er zusammen mit O. Vogel in den achtziger Jahren herausgab, ist viel Anerkennung zuteil geworden. Weitere Veröffentlichungen gehörten den Gebieten des physikalischen und mathematischen Unterrichts, der Biologie, der Geschichte der Chemie der Psychologie sowie der Schulreform an.

Seine Grundgedanken zur Methodik des chemischen Unterrichts verwirklichte Ohmann in dem Leitfaden der Chemie und Mineralogie, der 1889 erschien und seitdem 7 Auflagen erlebt hat. Seine ausgereiften methodischen Ideen, die auf ein streng aufbauendes Lehrverfahren gerichtet sind, hat er als Mitarbeiter an der Neubearbeitung der Meraner Lehrpläne (1922) zur Geltung bringen können. Umfangreiche Vorarbeiten zur Didaktik der Chemie sind leider durch den Krieg an der Vollendung gehindert worden; möge ein günstiges Geschick ihm noch den Abschluß dieser seiner eigentlichsten Lebensarbeit ermöglichen.

An seinem Ehrentage haben ihm der Herausgeber, die anderen Mitglieder der Schriftleitung und der Verlag Julius Springer die herzlichsten Glückwünsche dargebracht. Der Verlag hat dem vorliegenden Hefte auch in dankenswerter Weise ein Bild Otto Ohmanns beigegeben. *P.*

Vorlesungsversuche über Natriumverbrennung und mit dem dabei gewonnenen Natriumperoxyd.

Von Prof. O. Ohmann in Berlin-Pankow.

Das Verbrennungsprodukt des Natriums, das Natriumperoxyd Na_2O_2, hat in der chemischen Technik, z. B. zur Herstellung von Wasserstoffperoxyd und von Sauerstoff (in den sogen. Oxonapparaten), neuerdings eine solche Bedeutung erlangt, daß es schon aus diesem Grunde geboten ist, sich im Unterricht mit dieser Verbrennung etwas eingehender zu beschäftigen.

Hierzu fordert auch die Tatsache auf, daß bei dem energiereichen Natriummetall der Verbrennungsvorgang hinsichtlich des Produktes zum ersten Male so wesentlich anders verläuft, als bei den übrigen Metallen, bei denen er gewöhnlich nur bis zur einfachen, der Hauptwertigkeit entsprechenden Oxydbildung führt. Zudem ist der Oxydationsvorgang selbst, besonders in der unten mitgeteilten Form, von so eigenartigen Erscheinungen begleitet, daß seine intensive Beobachtung sowohl in jedem Demonstrationsunterricht wie noch mehr in den Übungen außerordentlich lohnend ist. Um aber, auch in theoretischer Hinsicht, volle Einsicht in den ganzen Vorgang zu gewinnen, darf man sich nicht, wie bisher üblich, mit der allgemeinen Bemerkung begnügen, daß hier nicht Na_2O, sondern Na_2O_2 gebildet wird, sondern es ist notwendig, die Peroxydnatur und die Eigenart des Verbrennungsproduktes durch einen Versuch wirklich nachzuweisen und an einem weiteren wirksamen Beispiel seine hervorragende Reaktionsfähigkeit zu zeigen, wofür m. W. brauchbare Vorlesungsversuche noch nicht vorliegen. All diesen Zwecken sollen die nachstehenden Versuche dienen.

Da man beim Unterrichtsversuch, ganz allgemein betrachtet, vier Arten unterscheiden kann, 1. den Vorlesungsversuch der Hochschulchemie, 2. den Demonstrationsversuch der Schulchemie, 3. die einzelne Übung des akademischen Praktikums, 4. die einzelne Übung der Schulchemie, die chemische Schülerübung, so ist bei den folgenden Versuchen angegeben, für welche Zwecke sie vorwiegend gedacht sind (abgekürzt mit: Vorles., Dem., Prakt., Üb.).

I. Verschiedene Arten der Natriumverbrennung.

Die bei Heumann-Kühling, Arendt-Doermer, Scheid u. a. angegebenen Verbrennungsversuche befriedigen zunächst experimentell insofern nicht, als sie das Eigenartige der ganzen Erscheinung nicht ausschöpfen; bei ihnen wird zu viel Wärme zugeführt, so daß ein Hauptreiz, die Selbstentzündung, dabei verloren geht und demgemäß das Exothermische nicht voll zur Geltung gelangt. Die erwähnten Versuche bedürfen ferner noch einer gewissen Ergänzung. Angesichts der großen physiologischen Bedeutung, die dem gebundenen Natrium im menschlichen Körper zukommt, möchten wir dafür eintreten, daß man sich im Unterricht (einschließlich Hochschulunterricht) auch mit dem freien Element etwas eingehender beschäftige als bisher. Die Verbrennungsversuche sind hierzu in erster Linie geeignet. Beim Kalium liegen die Verhältnisse etwas anders; sein Vorkommen und Verhalten im Körper, das mit der pflanzlichen Nahrung zusammenhängt, wird man zwar kurz erörtern, z. B. von unserm wichtigsten Nahrungsmittel, der Kartoffel, den Kalireichtum ($\sim 60\,\%$ der Asche) betonen, doch ist gegenüber dem Natrium die geringere in Betracht kommende Menge maßgebend. Übrigens verlaufen die Verbrennungsversuche im ganzen analog; auf unterscheidende Einzelheiten wollen wir hier nicht eingehen.

a) Die explosionsartige Verbrennung des Natriums auf erhitzter Asbestpappe. Diesen Versuch erwähnte ich bereits kurz in dieser Zeitschrift *(11, 230)*. Ein kleineres gereinigtes Stück Natrium (z. B. 85 mg) auf Asbestpappe *A*

(Fig. 1), mit der Tiegelzange Z in die (gemäßigte) Flamme gehalten, formt sich bald (nach 24 Sekunden) zur Kugel (*a*), die man im Augenblicke des quecksilberartigen Erglänzens samt ihrer Unterlage aus der Flamme entfernt. Nach wenigen (4) Sekunden verpufft sie als feuriger Ball (*b*) unter lebhaftem Aufflammen. Bei auf Dreifuß ruhender Asbestpappe kann man die Erscheinung auch durch unmittelbares Aufleiten der Bunsenflamme (die man im erwähnten Moment entfernt) erzielen. — [Vorles.].

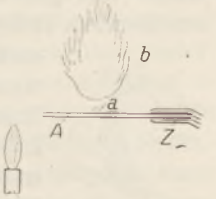


Fig. 1.

Die Erscheinung nannte ich damals „eine Art chemischen Analogons zum Leidenfrostschen Phänomen“ — in der Tat handelt es sich dabei um eine momentane Verdampfung (nebst Oxydation) des geschmolzenen, infolge Steigerung der Oxydationswärme über seinen Siedepunkt hinaus erwärmten Metalles.

b) Die Flammenbildung beim Schlagen des Natriums. Bringt man ein kleines Natriumstück (72 mg) auf den gereinigten Amboß und bearbeitet es mit dem Hammer, so dringen schon nach wenigen schwächeren Schlägen bei jedem weiteren kräftigeren Schlage Flammengebilde aus dem Metall hervor; sie haben meist die Form *a* (Fig. 2), mit spitzer Endigung und geben feinst zerteilten oxydischen Rauch an die Luft ab. Zuweilen dringt ein mehrere dm langer Rauchstrahl (*b*) heraus. Man kann aus solchen Natriumstückchen leicht über 50 einzelne Funken hervorlocken. — [Vorles., Prakt.].

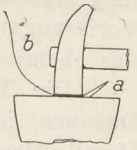


Fig. 2.

Daß es sich hierbei, ebenso wie bei der viel ausgiebigeren (aber mit Vorsicht zu behandelnden) Funkenbildung beim Kalium und noch anderen Leichtmetallen um eine Verdampfung des Metalles handelt, wurde bereits früher[1]) begründet. Es ist dies vielleicht der einfachste Versuch, um schnell die Bildung eines Metalldampfes zu demonstrieren.

c) Die Verbrennung des Natriums in Sauerstoff (im Batterieglase, mit Hilfe zweier nacheinander an das auf Asbestpappen gelagerte Natriumstück herangeführter Glühnadeln) wurde bereits früher *(ds. Zeitschr. 11, 229)* beschrieben. Auch hier tritt Verpuffung ein wie bei *a*, und ähnlich explosiv wie beim Blatt-Aluminium *(ds. Zeitschr. 10, 174)*. Der Versuch hat wohl nur wissenschaftliche, kaum didaktische Bedeutung.

d) Die rationelle Verbrennung des Natriums an der Luft. Man verwende einen kleineren dünnwandigen Porzellantiegel (Form *a* der Staatl. Porzellanmanufaktur, Berlin; Durchmesser 41 mm, Höhe 25), belege ihn mit $^1/_2$ g (eher noch etwas weniger) Natrium, das sorgfältig von Paraffinöl und von seiner Rinde befreit wurde, tariere schnell das Ganze ab und erwärme über mäßiger, gerade entleuchteter Flamme. Die Masse schmilzt und ballt sich zur Kugel, umhüllt von körnig grauer, schlackenähnlicher Oxydhaut. Plötzlich zerreißt diese, und für ganz kurze Zeit erscheint das blanke, von seiner Fessel befreite Element wie eine glänzende Quecksilberkugel — die Erscheinung erinnert an den Silberblick beim Abtreiben der Bleiglätte. In diesem Augenblick, in welchem das Metall noch eigenartige Bewegungserscheinungen (lebhaftes Hin- und Herrotieren) zeigt, entferne man den Tiegel aus der Flamme (aber nur wenige cm und halte ihn dann ganz still, um stärkere Abkühlung zu vermeiden): unter fortgesetzten Bewegungserscheinungen strebt die Masse, infolge geminderter Oberflächenspannung, aus der Kugelgestalt heraus, zerfließt mehr oder weniger und überzieht sich nun ganz gleichmäßig mit einer wundervollen, rein blauen Haut. Im Dunkeln zeigt diese Haut bereits schöne Phosphoreszenz. Nach Aufhören der Bewegungserscheinungen tritt scheinbar Abkühlung und Erstarrung ein; man werde aber nicht ungeduldig, gehe nicht zur Flamme zurück, sondern warte

[1]) Ber. d. D. Chem. Ges. 39, 866/870; vergl. auch ds. Zeitschr. 19, 183, 1906.

noch eine ganze Reihe von Sekunden: da glimmt es plötzlich an einer Stelle dunkelgelb auf, bald darauf an einer zweiten, oft entgegengesetzten, und nun erstrahlt die Masse fast gleichzeitig an der ganzen Oberfläche unter beginnender Ausbreitung in leuchtendem Hellgelb, während weiße Rauchschwaden aufsteigen. Jetzt ist es zweckmäßig, den Schmelztiegel (T, Fig. 3) derart nach den Zuhörern hin zu wenden, daß die Tiegelzange Z den Tiegel seitlich faßt, so daß die Masse, die nun unter Erzeugung eigenartig geformter, etwa blumenkohlähnlicher Gebilde ziemlich stark anschwillt, sich vornehmlich nach unten und vorn ausbreiten kann; sie strömt dabei langsam dem in der Richtung der Pfeile aufsteigenden Luftstrom entgegen, der oben den Oxydrauch wegführt (den man noch an kaltem Porzellan oder Metall, wenn auch nur in geringem Maße, auffangen kann).

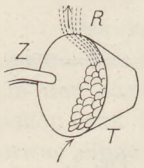


Fig. 3.

In dieser Form gibt die Natriumverbrennung eine Andeutung, wie das Natriumperoxyd in der Technik (nach dem Prinzip der Gegenströmung) gewonnen wird, und ist zugleich, besonders wegen der lang andauernden und intensiven Energieentwicklung eine der reizvollsten Verbrennungserscheinungen überhaupt, gleich geeignet als Vorlesungsversuch bis hin zur Schülerübung, und wie geschaffen zum Hineinleben in das chemische Geschehen bei einem größeren Erscheinungskomplex.

Die Verwendung einer Porzellanschale zu dem Oxydationsversuch (Arendt-Doermer) ist nicht zu empfehlen, da diese meist zerspringt, ebensowenig die von Metall (Heumann, Scheid); hier wirkt die Wärmeleitung störend, so daß der Vorgang einerseits stark abgekürzt wird — wodurch etwas sehr Kennzeichnendes nicht zur Geltung gelangt — andererseits unvollkommen verläuft, indem regelmäßig noch etwas unverbranntes Metall zurückbleibt, das dann, wenn man durch Aufträufeln von Wasser die Hydroxydbildung zeigen will, in störender Weise aufflammt. Dagegen ist Metall zum Auffangen des entweichenden Na_2O_2 sehr geeignet; aber weniger bei der gewöhnlichen Verbrennung (wofür es Heumann bereits empfiehlt), sondern am besten bei dem oben geschilderten explosiven Zerfall (α). Die geringe Zeit vom Zurückziehen der Kugel aus der Flamme bis zur Verpuffung genügt gerade, um schnell eine mit Tiegelzange bereit gehaltene Metallplatte (z. B. Eisenblech) parallel der Asbestpappe, nur ~ 2 cm von ihr entfernt, darüber zu breiten: es zeigt sich ein kräftiger Anflug des Verbrennungsproduktes, der aber schnell demonstriert werden muß, da er wegen der sofort einsetzenden Wasserdampfabsorption sehr bald an Deutlichkeit einbüßt.

Der Substanzverlust infolge der Rauchentwicklung ist beträchtlich; auch entfernter stehende Flammen zeigen bald und andauernd das gelbe Natriumlicht. Um so auffälliger wirkt es, daß beim Zurückstellen auf die Wage deutliche Gewichtszunahme zu beobachten ist (260, 500, 610 mg vermehren sich um 52 bzw. 110 und 130 mg).

e) Die Hydroxydation der auf Wasser festgehaltenen Natriumkugel. Der bekannte Versuch der Selbstentflammung eines Natriumstückes ($\sim 1/5$ g), das schnell auf eine auf Wasser gebreitete Fließpapierscheibe gelegt wurde, wird hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Von den eigentlichen Verbrennungsversuchen mittels Luftsauerstoffs scheidet er insofern aus, als es sich hier im wesentlichen um unmittelbare Hydroxydbildung und um Verbrennung des dabei entstehenden Wasserstoffes handelt. Auf die Notwendigkeit des sofortigen Verdeckens nach dem Abbrennen sei von neuem hingewiesen.

II. Die Untersuchung des Verbrennungsproduktes. Sauerstoffnachweis.

In den Lehrgängen beschränkt man sich fast ausnahmslos darauf, durch Behandeln des Verbrennungsproduktes mit Wasser die Hydroxydbildung zu zeigen. Dabei bleiben aber die interessantesten und technisch wichtigsten Seiten des Produktes unbeachtet. Hier besteht eine Lücke, die im folgenden ausgefüllt werden soll.

a) Die Bildung von festem Hydroxyd durch Eintropfen von Wasser. Die Hauptsache bei dem bekannten Versuch ist der Nachweis, daß beim Auftropfen von Wasser (nur 2 Tropfen beim Ausgehen von $^1/_2$ g *Na*) das Produkt noch fest bleibt, das Wasser also chemisch gebunden wird, und daß dann weiterer Wasserzusatz zu einer völligen Lösung, zur Lauge führt. Man wird den Versuch nicht unterlassen, ihn vielmehr gleich an die erste, nach Id vorgenommene Verbrennung — nach völligem Erkalten des Produktes — anschließen, den Vorgang aber noch nicht durch eine Gleichung klarlegen, sondern darauf hinweisen, daß die auffälligen Nebenerscheinungen, das heftige Zischen beim ersten Tropfen Wasser, das Ausstoßen einer Dampfwolke, die überraschend große Temperaturerhöhung, eine genauere Untersuchung mittels Wasser als dringlich erscheinen lassen.

b) Nachweis der Peroxydbildung durch Entwicklung von Sauerstoff. Das nach Id erhaltene Produkt bringe man durch vorsichtiges Abschaben aus dem Schmelztiegel noch warm in ein Probierglas, das man sogleich verschließt, wiederhole die Operation noch zweimal, so daß im ganzen das von $\sim 1^1/_2$ g *Na* gebildete Peroxyd vorliegt. In ein weiteres (21 mm), kürzeres (150 mm) Probierglas *Pr* (Fig. 4) — oder in ein engeres mit seitlichem Rohransatz — bringe man drei Stückchen ausgeglühten Asbestpapiers (*A*), um den Boden gegen die heftige Reaktion zu sichern, schiebe sie mittels Holzdraht so zurecht, daß sie übereinander zu liegen kommen und schütte das gesammelte Peroxyd *V* darauf. Das weitere besagt die Figur. Der mensurierte Fußzylinder *Z* sei lang und schmal. In den Tropftrichter gebe man nur 10 ccm Wasser. Durch wiederholtes partielles Öffnen und Schließen des Hahnes, wobei man jedesmal die herabrinnende kleine Wassermenge bis zum entstehenden Tropfen *T* verfolgt, kann man es bewirken, daß vorerst nur ein Tropfen in das Peroxyd abtropft. Es erfolgt ein kräftiger Gasstoß, dessen Wirkung noch durch die hohe Reaktionswärme unterstützt wird. Es empfiehlt sich daher, den Stopfen fest einzusetzen. Auch den zweiten und dritten Tropfen lasse man noch einzeln hinzufließen und gebe langsam soviel Wasser hinzu, daß das ganze Peroxyd bedeckt und die Entwicklung beendigt wird. Auf je ein Gramm des Verbrennungsproduktes kommen $\sim$ 72 ccm entwickelter Sauerstoff. Es lohnt noch zu erwärmen und durch Siedenlassen alles Gas (im vorliegenden Falle noch 34 ccm) zu vertreiben. Ein glimmender Holzdraht läßt sich wiederholt entflammen [Vorles., Dem.].

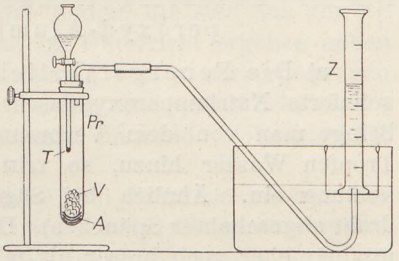


Fig. 4.

Da durch irgend einen Zufall zuerst mehr als ein Tropfen zu *V* gelangen kann (wodurch möglichenfalls der Pfropfen herausgeworfen werden könnte), so ist es nützlich, die große Glasschutzplatte aufzustellen. Bei der Einzelbeobachtung nehme man das Schutzglas zur Hand (vergl. dieses Heft, S. 264). In dieser Form ist der Versuch ein Gegenstück zur Acetylenerzeugung im kleinen durch Auftropfen von Wasser auf Karbid. Eigentlich wird das Natriumperoxyd so verwendet, daß man umgekehrt die feste Substanz in viel Wasser gibt. Dann würde man in *Pr* (Fig. 4) statt *A* + *V* Wasser haben und bei *T* die Substanz anbringen, die man, etwa durch zeitweises Erschüttern, allmählich herabfallen läßt. Doch ist diese Arbeitsweise umständlicher.

Der obige Versuch illustriert in erwünschter Weise den chemischen Vorgang, durch den unsere tapferen Ubootleute unter Wasser ihre Atemluft bezogen. Durch ihn ist der Nachweis geliefert, daß bei der Verbrennung von Natrium nicht das einfache Na_2O, sondern das Peroxyd Na_2O_2 entsteht. Denn wäre ersteres entstanden, so ist die Sauerstoffentwicklung ganz unverständlich. Der Vorgang bei der Hydroxyd-

bildung verläuft also nicht nach der vielfach in Lehrbüchern anzutreffenden Gleichung: $Na_2O + H_2O = 2\,NaOH$, sondern nach der Gleichung

$$2\,Na_2O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 4\,NaOH + O_2.$$

Das einfache Natriumoxyd ist erst auf umständlichem Wege, durch Einwirkung von metallischem Natrium auf Natriumperoxyd, zu erhalten. Beiläufig sei noch erwähnt, daß die früher umstrittene Konstitutionsformel für Na_2O_2 jetzt mit $Na\text{-}O\text{-}O\text{-}Na$ sichergestellt ist.

c) Die Wasserstoffperoxydbildung aus dem Verbrennungsprodukt durch Eintragen in eiskalte verdünnte Schwefelsäure und Hinzugeben zu Jodkaliumstärkelösung läßt sich leicht bewerkstelligen; sie wird schon von Scheid (Vorbereitungsbuch) empfohlen. Neuerdings wird Hydroperoxyd in großen Mengen aus dem Natriumperoxyd gewonnen. Zur Herstellung der kalten Schwefelsäurelösung genügt es, das Probierglas mit einer Lage Fließpapier zu umgeben, das durch dünnen Draht festgehalten wird, und in ein Schälchen mit Äther zu stellen.

III. Die weitere Reaktionsfähigkeit des Verbrennungsproduktes. Die mit Rauchringbildung verknüpfte Entflammung eines Natriumperoxyd-Aluminiumgemisches mittels Wasser.

a) Die Feuergefährlichkeit des Natriumperoxydes. Die beim Bezug gelieferte Natriumperoxydflasche trägt gewöhnlich die Aufschrift „Feuergefährlich". Bringt man von dem Verbrennungsprodukt etwas auf Fließpapier und fügt einen Tropfen Wasser hinzu, so tritt eine schwache Glüherscheinung und partielle Verkohlung ein. Ähnlich bei Sägemehl (oder einer kleinen Menge schnell vom Holzdraht abgeschabter Spänchen). Die Versuche gelingen mit dem frischen Verbrennungsprodukt eher noch besser als mit entsprechend kleinen Mengen vom technischen Peroxyd. Bei größeren Mengen ist die Wirkung heftiger, doch verbieten sich diese bei der Not der Zeit.

b) Der Natriumperoxyd-Aluminiumversuch. Bei einer Untersuchung des Verhaltens von Metallen und Metalloxyden zum Natriumperoxyd fand ich, daß ein geeignetes Gemisch von Aluminiumpulver und Natriumperoxyd durch einen Tropfen Wasser zur Entzündung und Verpuffung gebracht wird. Bei den Versuchen, die ich in der „Deutschen Chemischen Gesellschaft" vorführte, verwendete ich eine Mischung im Verhältnis von 4,3 g des technischen Peroxydes zu 1 g Al, entsprechend den Reaktionsgleichungen $2\,Na_2O_2 + 2\,H_2O = 4\,NaOH + O_2$ und $4\,Al + 3\,O_2 = 2\,Al_2O_3$[1]). Die Versuche lassen sich nun auch mit dem nach I d gewonnenen Verbrennungsprodukt ausführen. Gerade durch ihr Gelingen fühlte ich mich veranlaßt, auch die Gewinnung von Sauerstoff aus dem Verbrennungsprodukt in einem Unterrichtsversuch zu verfolgen. Mischt man das Verbrennungsprodukt mit etwa dem vierten Teile besten Aluminiumpulvers in einer gut glasierten Porzellanschale mittels des Spatels eines Hornlöffels und gibt etwas vom Gemenge auf Asbest und berührt mit der Glühnadel, so brennt es lebhaft ab. Läßt man auf eine andere Menge, wiederum auf Asbest, einen Tropfen Wasser fallen, so setzt in wenigen Augenblicken eine lebhafte Verpuffung ein. Am auffälligsten gestaltet sich die Erscheinung, wenn man von einer größeren Menge Wasser ausgeht. Schüttet man auf Wasser im Hofmannschen Kelchglase (W Fig. 5) eine Messerspitze des Gemisches, so verteilt sich dieses infolge der Oberflächenspannung zu einer gleichmäßigen Haut (O). Es empfiehlt sich, das Kelchglas stets mit dem von H. Rebenstorff empfohlenen Bleiblech (Pb) zu stabilisieren. Schon die zweite Menge,

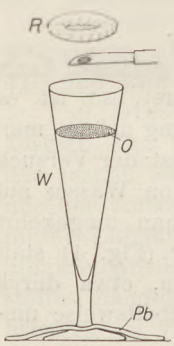


Fig. 5.

[1]) Ber. d. D. Chem. Ges. 53, Heft 8, S. 1427/29.

auf die Mitte dieser Haut gebracht, führt gewöhnlich zur Entzündung und von da an jede weitere Menge. Außerdem wird nun hierbei zuweilen ein schöner Rauchring (R) erzeugt. Es ist dies, neben dem Phosphorwasserstoff und dem Siliciumwasserstoff eine dritte Art der Rauchringerzeugung. Bei Herstellung einer größeren Menge des Gemisches (mit technischem Peroxyd) bedecke man das Gefäß jedesmal nach Herausnehmen einer Portion sorgfältig. Nicht nur jeder kleinste Funke, sondern auch der kleinste Wasserspritzer, sogar schon die beim Sprechen erzeugten Feuchtigkeitsspuren bringen das Gemisch sofort zur Entzündung [Vorles., Dem.].

Über die Bestimmung der Erdbeschleunigungskonstante g im physikalischen Arbeitsunterricht und einige verwandte Übungen[1]).

Von Dr. C. Tietze in Berlin-Tempelhof.

Das folgende Verfahren setzt die Kenntnis der Rechnung mit Trägheitsmomenten voraus, es wird also für die Prima und für Sonderkurse zu verwenden sein und gleichzeitig eine schöne Bestätigung eben dieser Sätze bilden, die sich aus der Behandlung der rotatorischen Bewegung starrer Systeme im Unterricht ergeben haben.

Natürlich sind schon andere Übungen zur Bestimmung von g vorhergegangen. Als unerläßliche Forderung muß es wohl bezeichnet werden, daß jeder Schüler einmal mit dem Metronom den freien Fall im Treppenhause messend beobachtet hat. Dies wird schon in Ober-Tertia geschehen sein.

Später stehen dann Fadenpendel, Reversionspendel und Fallmaschine zur Verfügung, und wenn quantitativ gearbeitet werden soll, was auf der Oberstufe durchaus wünschenswert erscheint, so kommt man ja auch bei der Fallmaschine ohne den Begriff des Trägheitsmomentes nicht mehr aus.

Ist M die gesamte träge Masse des Systems, m die des Übergewichts und b die erzielte Beschleunigung, so läßt sich bekanntlich mit Hilfe der Gleichung $M \cdot b = m \cdot g$ die Größe g mit befriedigender Genauigkeit bestimmen.

Man wird auch umgekehrt, wie hier nur nebenbei erwähnt sei, mit Hilfe des aus dem Lehrbuche entnommenen genaueren Wertes für g berechnen lassen, welchen Weg das Fallgewicht in t Sekunden zurücklegen muß, welche Geschwindigkeit es dann erreicht hat, und wird diese Ergebnisse an der Fallmaschine nachprüfen. Hierzu sei noch bemerkt, daß Rechnung und Versuch nur dann befriedigend übereinstimmen, wenn man das Übergewicht nicht zu klein nimmt; denn nur dann können Reibung und sonstige durch die Eigenart der Maschine bedingte Störungen vernachlässigt werden.

Der wegen seiner Handlichkeit beliebteste Apparat zur Untersuchung der gleichförmig beschleunigten Bewegung ist jedoch die schiefe Ebene in Gestalt der Fallrinne, in der man eine Kugel hinunterrollen läßt. Diese Anordnung hat einige Nachteile, die sogleich sehr komplizierend in die Erscheinung treten, sowie man auch hier zu quantitativen Versuchen übergehen will. Ist ε der Neigungswinkel der schiefen Ebene gegen die Horizontale, so ergibt sich für die Beschleunigungskomponente parallel der Ebene $b = g \cdot \sin \varepsilon$.

Die Schüler kommen also, wenn man die Aufmerksamkeit darauf lenkt, durch eine rasche Überlegung wohl auf den Gedanken, daß infolgedessen mit Hilfe der Weg-Zeit-Gleichung

[1]) Die Anregung zu diesen Versuchen gaben die in Poske, Oberstufe der Naturlehre, S. 76 auf anderem Wege abgeleiteten Beziehungen; sie gelten nur für die schiefe Ebene und liefern für diesen Spezialfall dieselben Gleichungen wie die oben allgemein aufgestellten. Man vgl. auch den mir erst nachträglich bekannt gewordenen Aufsatz von P. Volkmann über die Galileische Fallrinne in dieser Zeitschr. 7, 161 (1893/94).

1) $$s = \frac{b}{2} \cdot t^2 = \frac{g}{2} \cdot t^2 \cdot \sin\varepsilon$$

und einer oder besser mehrerer Beobachtungen von s und t die Größe g sich bestimmen lassen müsse; denn die Reibung der rollenden Kugel kann nur klein sein und ist sicherlich ebenso zu kompensieren wie bei der Fallmaschine.

Die Auswertung des entsprechenden Versuches ergibt jedoch einen gänzlich falschen Wert für g. Man findet nämlich z. B. für $t = 1{,}9$ Sek. den Wert $s = 83$ cm, wenn $\sin\varepsilon = 0{,}082$ ist[1]). Daraus wird $g = 560$ cmsec^{-2}.

Woher kommt das? War vielleicht doch die Reibung zu groß? Ein einfacher Versuch zeigt, daß es an der Reibung nicht liegen kann. Gibt man nämlich der Ebene eine solche Neigung, daß $\sin\varepsilon$ höchstens 0,003 wird, so rollt die Kugel ($\mathfrak{K}_1$) nach einem kleinen Anstoß gleichförmig weiter und zeigt dadurch an, daß die Reibung bereits überwunden und daß der Reibungskoeffizient ($\tan\varepsilon = \sin\varepsilon$) so unbedeutend ist, daß seine Berücksichtigung die obige große Abweichung nicht beseitigen kann. [Die Reibung ist demnach in allen angeführten Versuchen durch eine solche Neigung kompensiert gedacht.]

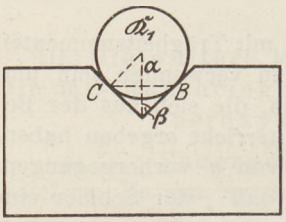


Fig. 1.

Zur weiteren Aufklärung gehen wir nun daran, nicht nur Weg und Zeit, sondern auch alle anderen Versuchsgrößen messend festzulegen. Wir stellen fest, daß die Wände der benutzten (zusammenklappbaren) Holzrinne senkrecht aufeinander stehen (ihr „Öffnungswinkel" ist $2\beta = 90^0$) und messen die Entfernung BC zu 27 mm (Fig. 2). Ferner nehmen wir noch zwei andere Kugeln $\mathfrak{K}_2$ und $\mathfrak{K}_3$ zum Vergleich hinzu und finden als entsprechende Durchmesser: $d_1 = 2{,}5$ cm (Stahl), $d_2 = 2{,}0$ cm (Stahl), $d_3 = 5{,}75$ cm (Elfenbein). Nun lassen wir in der gleichen Rinne und bei gleicher Neigung wie oben zunächst die Kugel $\mathfrak{K}_2$ hinunterrollen und erhalten, wie zu erwarten, das gleiche Resultat. Benutzen wir dann aber die Kugel $\mathfrak{K}_3$ zum Versuch, so ergibt sich die beachtenswerte und zunächst überraschende Tatsache, daß $\mathfrak{K}_3$ in 1,9 Sek. 97 cm zurücklegt, so daß man nunmehr für g aus der Gleichung 1) den Wert 655 cmsec^{-2} erhält.

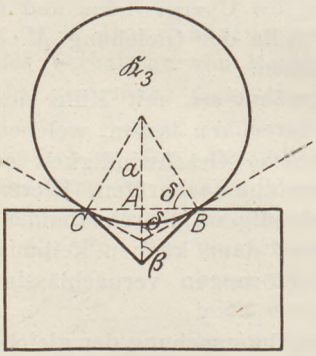


Fig. 2.

Das scheint ja fast ein Widerspruch zu sein gegen den Grundsatz, daß alle Körper gleich schnell fallen. Bei genauerer Überlegung werden die Schüler jedoch einsehen, daß die beiden scheinbar gleichen Bewegungen im Grunde doch verschieden waren. Man bemerkt nämlich, daß die jeweilige Drehachse BC der Kugeln $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ einen anderen relativen Abstand a vom Mittelpunkte hat als die der Kugel $\mathfrak{K}_3$ (Fig. 2).

Dadurch ist aber in der Tat, wie unten in der Rechnung gezeigt wird, ein Unterschied bedingt, der, anders ausgedrückt, darin liegt, daß sich die Kugel $\mathfrak{K}_3$

[1]) Die Zeit wurde festgestellt, indem die irgend einer Metronomstellung entsprechende Zeit als Einheit zunächst angenommen und die in a Zeiteinheiten zurückgelegte Strecke festgestellt wurde. Sodann wurden die Schläge in 1 Minute gezählt, es seien b. Dann ist die den a Schlägen entsprechende Zeit $t = \frac{60 \cdot a}{b}$ Sek. $a = 4$, $b = 126$, also $t = 1{,}905$ Sek. Die 0,005 Sek. hier noch zu berücksichtigen, wäre wohl eingebildete Genauigkeit, wenngleich die Übereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung dadurch noch besser werden würde. Würde man $b = 125$ zählen, so ergäbe sich $t = 1{,}92$ Sek. Der mögliche Fehler wäre also höchstens $\pm 0{,}8\,\%$. Größere Genauigkeit hat hierbei keinen Sinn, da das Einleiten und das Feststellen des Endes der Bewegung doch mit individuellen Fehlern behaftet sind.

eigentlich nicht in der gleichen Rinne wie $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ bewegt. Man muß vielmehr ihre Bewegung so auffassen, daß sie in einer Fallrinne mit dem Öffnungswinkel 2δ erfolgt. 2δ ergibt sich nach einfacher Rechnung zu 124^0.

Aus diesen Überlegungen wird jedem Schüler klar geworden sein, daß der Grund für den großen Fehler bei der Bestimmung von g wohl nur darin liegen kann, daß hier ein Teil der zur Verfügung stehenden Kraft dazu verbraucht wird, die Kugeln in Rotation zu versetzen, so daß die zurückgelegten Wege kleiner sein müssen als $\frac{g}{2} t^2 \cdot \sin\varepsilon$. Dieser erwähnte Kraftanteil aber ist bei $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_3$ verschieden, weil die Drehachsen relativ verschiedene Lage haben. Daher also zeigen die beiden Wegstrecken jenen Unterschied, der sogleich verschwindet, wenn man alle 3 Kugeln auf einer ebenen Unterlage ($2\beta = 180^0$) hinabrollen läßt. Der ganze Vorgang würde sich noch anschaulicher darstellen lassen, wenn man wirklich dieselbe Kugel in zwei Rinnen von verschiedenem Öffnungswinkel beobachten könnte. Das wird wohl aber nur selten, oder doch nur, wie am Schluß näher ausgeführt, behelfsweise möglich sein, und darum muß besonders darauf hingewiesen werden, daß es auf den Radius der Kugel hierbei nicht ankommt, sondern nur auf den Öffnungswinkel der Fallrinne. Das gleiche Resultat liefert auch die nunmehr anzustellende Rechnung.

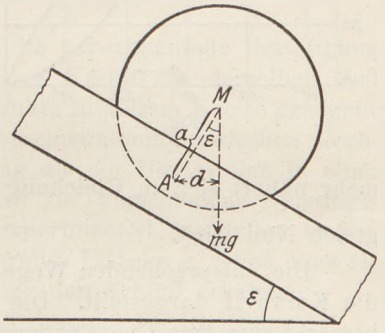


Fig. 3.

Um auf Grund dieser Überlegungen die richtige, dem Versuch entsprechende Gleichung zu finden, gehen wir aus von

2) $$\omega = \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{T}},$$

wobei ω die Winkelbeschleunigung, $\mathfrak{T}$ das Trägheitsmoment der rotierenden Kugel und $\mathfrak{D}$ das durch die Erdanziehung bedingte Drehmoment bedeutet. In Fig. 3 sei A der Mittelpunkt der Drehachse BC (s. Fig. 1), die Strecke AM heiße a, dann ist

$$d = a \cdot \sin\varepsilon,$$

mithin $$\mathfrak{D} = m \cdot g \cdot d = m \cdot g \cdot a \cdot \sin\varepsilon,$$

und da $$a = r \cdot \sin\beta \text{ (Fig. 1)},$$

so wird $$\mathfrak{D} = m \cdot g \cdot r \cdot \sin\beta \cdot \sin\varepsilon.$$

Das Trägheitsmoment einer Kugel mit der Masse m ist, auf den Mittelpunkt bezogen,

$$\mathfrak{T}_M = \frac{2}{5} m \cdot r^2,$$

also in bezug auf eine Achse im Abstande a von M

$$\mathfrak{T}_A = \mathfrak{T}_M + m \cdot a^2 = \frac{2}{5} m \cdot r^2 + m \cdot r^2 \cdot \sin^2\beta,$$

mithin wird

3) $$\omega = \frac{g \cdot \sin\varepsilon \cdot \sin\beta}{r\,(0{,}4 + \sin^2\beta)} = f(\beta).$$

Welchen Weg legt nun die Kugel infolge dieser Winkelbeschleunigung ω zurück? Ist b die Bahnbeschleunigung eines Punktes im Abstande a von der Drehungsachse, so ist $b = a \cdot \omega$, also

4) $$s = \frac{b}{2} \cdot t^2 = \frac{a \cdot \omega \cdot t^2}{2} = \frac{g}{2} \cdot t^2 \cdot \sin\varepsilon \frac{\sin^2\beta}{0{,}4 + \sin^2\beta}, \text{ folglich}$$

5) $$g = \frac{2 \cdot s\,(0{,}4 + \sin^2\beta)}{t^2 \cdot \sin\varepsilon \cdot \sin^2\beta}.$$

Setzt man hier die Zahlen aus den oben angegebenen Versuchen ein, so ergeben sich nunmehr für g die Werte 1010 cmsec^{-2} (3 %/o Fehler) und 990 cmsec^{-2} (1 %/o). Diese Genauigkeit dürfte befriedigend sein. Sie läßt sich durch Verwendung einer Metallrinne und Benutzung eines Mittelwertes aus mehreren Versuchen noch ganz erheblich steigern. Ein Mittel aus nur drei Werten einer Reihe war z. B. 975 cmsec^{-2} (0,6 %/o).

Auch diese Aufgabe wird man dann umgekehrt behandeln lassen (wie bei der Fallmaschine), d. h. es soll rechnerisch bestimmt werden, welchen Weg die Kugel $\mathfrak{K}_1$ oder $\mathfrak{K}_3$ bei bestimmter Neigung der Rinne in bestimmter Zeit zurücklegen wird. Die Rechnung, die in den obigen Gleichungen enthalten ist, wird durch den Versuch bestätigt.

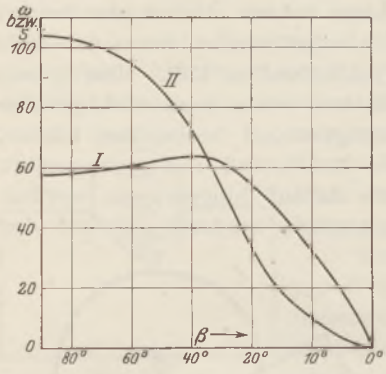


Fig. 4.

Noch einige Bemerkungen im Anschluß an die Gleichungen 3) und 4): Das Einsetzen verschiedener β-Werte in 3) ergibt für $r = 1$ cm, $g = 981$ cmsec^{-2}, $\sin\varepsilon = 0{,}082$ Kurve I (Fig. 4). ω nimmt also mit abnehmenden Öffnungswinkel zunächst zu. Das Maximum liegt, wie eine einfache Differentiation zeigt, ungefähr bei 39 $^1/_2{}^0$. ω wird schließlich Null, wenn sich die Kugel zwischen zwei parallelen Ebenen bewegt, d. h. wenn die Drehachse, die dann durch den Mittelpunkt der Kugel geht, festliegt. Je näher nämlich die durch die Berührungspunkte bestimmte Drehachse dem Mittelpunkte kommt, um so mehr nähert sich in Gleichung 2) die Größe $\mathfrak{T}$ dem Werte $\mathfrak{T}_M = \frac{2}{5} m \cdot r^2$, während $\mathfrak{D}$ gleich Null wird.

Die entsprechenden Wege sind für $t = 1{,}9$ Sek. gleichfalls berechnet und durch die Kurve II dargestellt. Die Wegstrecken nehmen demnach dauernd ab, und man bemerkt eine gute Übereinstimmung zwischen der Rechnung und den oben angegebenen Versuchen.

Aus den Gleichungen geht, wie schon betont, hervor, daß der Kugelradius auf den zurückgelegten Weg keinen Einfluß hat, wenn nur β eine feste Größe ist.

Nunmehr ist man auch in der Lage, den für jede gleichförmig beschleunigte Bewegung leicht abzuleitenden Satz, daß die erlangte Endgeschwindigkeit nur von der Höhe, nicht aber von der Neigung der schiefen Ebene abhängig ist, experimentell nachzuprüfen. Die Frage würde etwa lauten müssen (Fig. 5): Von welcher Höhe h, d. h. von welcher Stelle x der Fallrinne aus und bei welcher Neigung muß man eine der Kugeln rollen lassen, damit sie nach 1 Sek. oder nach $^1/_2$ Sek. in A anschlägt und dann in der nächsten Sekunde bis B kommt?

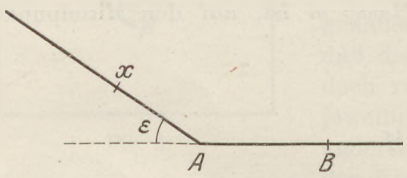


Fig. 5.

Diese Strecke AB gibt ja angenähert die in A erlangte Geschwindigkeit an. Man muß dabei nur berücksichtigen, daß, sobald ε einigermaßen große Werte annimmt, längs AB nicht die in A erlangte Geschwindigkeit v selbst, sondern $v \cdot \cos\varepsilon$ gemessen wird. Läßt man also die Kugeln immer von der gleichen Höhe, aber bei verschiedener Neigung ε, abrollen, so ist der Anschlagpunkt B so zu variieren, daß $AB = v \cdot \cos\varepsilon$ ist.

Soll z. B. die Geschwindigkeit von $\mathfrak{K}_1$ nach 1 Sek. 40 cmsec^{-1} betragen, so ergibt sich aus $v = b \cdot t$ für b der Wert 40 cmsec^{-2}; die Bewegung der Kugel $\mathfrak{K}_1$ muß demnach $s = \frac{b}{2} \cdot t^2 = 20$ cm von A entfernt beginnen. Den dazu gehörigen Wert für $\sin\varepsilon$ findet man im Anschluß an Gleichung 3):

$$v = b \cdot t = a \cdot \omega \cdot t = \frac{g \cdot \sin^2\beta \cdot \sin\varepsilon}{0{,}4 + \sin^2\beta} \cdot t, \text{ also}$$

$$\sin\varepsilon = \frac{v\,(0{,}4 + \sin^2\beta)}{g \cdot t \cdot \sin^2\beta} = 0{,}0734 \quad (\varepsilon = 4^0\,10'; \; AB = 39{,}9 \text{ cm}).$$

Soll schon nach $^1/_2$ Sek. die Geschwindigkeit $v = 40$ cm/sec^{-1} erreicht werden, so ist $s = 10$ cm zu nehmen und $\sin\varepsilon = 0{,}147$ ($\varepsilon = 8^0\,20'$; $AB = 39{,}6$ cm). Für $\mathfrak{K}_3$ werden die entsprechenden Werte:

a) $t = 1$ Sek. $\quad \sin\varepsilon = 0{,}0617 \quad \varepsilon = 3^0\,35'$

b) $t = {}^1/_2$ Sek. $\quad \sin\varepsilon = 0{,}124 \quad \varepsilon = 7^0\,10'$.

Die Höhe, aus der $\mathfrak{K}_1$ hinunterfällt, um die Geschwindigkeit 40 cm/sec^{-1} zu erlangen, ist demnach 1,47 cm, für $\mathfrak{K}_3$ jedoch 1,24 cm. Dies ist kein Widerspruch; denn es handelt sich hierbei nicht um die frei fallenden, sondern vielmehr um die in ihren Rinnen senkrecht hinunterrollenden Kugeln. Für diese ist aber nach Gleichung 4): $s = f(\beta)$.

Experimentell läßt sich freilich die senkrecht hinabrollende Kugel nicht untersuchen, denn die Reibung ist dann Null, so daß eine Rotation nicht eintritt. Stellt man jedoch die übrigen berechneten Werte an der schiefen Ebene ein, so sind die Schüler durch das genaue Übereinstimmen von Rechnung und Versuch freudig überrascht.

Schließlich ist nach diesen Betrachtungen auch die experimentelle Bestätigung dafür ermöglicht, daß der vertikale Durchmesser eines Kreises in derselben Zeit durchfallen wird wie jede von einem Durchmesserendpunkte in diesem Kreise gezogene Sehne. Man erhält auch hier erst dann eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Versuch, wenn man die senkrechte Bewegung als ein Hinabrollen in einer Rinne vom Öffnungswinkel 2β auffaßt. Hat man also für verschiedene Neigungswinkel ε die z. B. in $^1/_2$ Sek. zurückgelegten Wege experimentell feststellen lassen, so kann man die in der gleichen Zeit senkrecht durchrollte Strecke e, wenn man sie nicht aus Gleichung 4) berechnen will, auch durch folgenden Schluß erhalten:

Wie auch der Neigungswinkel ε sein mag, immer besteht die Gleichung

$$s = \frac{b}{2} t^2 = \frac{b_1}{2} \cdot t^2 \cdot \sin\varepsilon.$$

Man kann also aus allen Beobachtungen dieser Reihe einen Mittelwert für b_1 entnehmen und findet dann für das senkrechte Hinabrollen ($\varepsilon = 90^0$) $e = \frac{b_1}{2} \cdot t^2$. Werden nun die Beobachtungsergebnisse maßstäblich aufgezeichnet, so sehen die Schüler, daß tatsächlich die Endpunkte der Wegstrecken auf dem Kreis mit dem Durchmesser e liegen.

Es sei nun im Anschluß an S. 225 noch darauf hingewiesen, daß für alle diese quantitativen Versuche die massive Fallrinne recht ungeeignet ist; denn eine Verstellmöglichkeit für den Öffnungswinkel ist im allgemeinen nicht vorgesehen und aus vielen Gründen auch nicht zu empfehlen. Da ferner zu bedenken ist, daß das Material der Rinne eigentlich nur als an sich entbehrliche Stütze für die beiden Laufleisten im Abstande BC in Betracht kommt, so wäre es wünschenswert, wenn sich eine unserer Apparatefabriken die Konstruktion einer „Fallschiene“ mit verstellbarem Schienenabstand angelegen sein ließe. Das in vielen Sammlungen vorhandene Schienenmodell zur Darstellung der Kraftwirkungen bei der schiefen Ebene wäre z. B. leicht in diesem Sinne umzuarbeiten und würde dann neben seiner bisher engbegrenzten Verwendungsmöglichkeit auch eine recht genaue Prüfung der theoretisch erarbeiteten Eigenschaften rotierender Körper ermöglichen.

Die Gleichungen 3), 4) usw. wären dann so umzuformen, daß an Stelle des Öffnungswinkels überall der Schienenabstand BC träte. Das ist aber nach Fig. 3 leicht möglich.

Ich habe behelfsmäßig die eine Kante der Fallrinne und die entsprechende eines daneben durch Gewichte festgelegten Lineals als solche „Fallschiene“ benutzen lassen, und es gelang auch mit dieser Vorrichtung, die für eine bestimmte Schienenweite aus Gleichung 4) errechneten Wege genau zu bestätigen. Legt man bei dieser Versuchsanordnung zwei gleiche Kugeln nebeneinander in die Schiene und in die gleichgeneigte Rinne, so wird nunmehr auch ohne jede Zeitmessung ganz deutlich sichtbar, daß die eine der beiden je nach der Schienenbreite bald schneller, bald langsamer herabrollt als die andere.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß das angegebene Verfahren ein sehr einfach durchzuführendes Mittel liefert, Trägheitsmomente experimentell zu bestimmen. Ausgehend von Gleichung 2) erhält man für die in einer Rinne hinabrollende Kugel

$$\omega = \frac{m \cdot g \cdot r \cdot \sin\beta \cdot \sin\varepsilon}{\mathfrak{T}_A}.$$

Da ferner $s = \frac{a \cdot \omega \cdot t^2}{2} = \frac{r \cdot \sin\beta \cdot \omega \cdot t^2}{2}$, also $\omega = \frac{2s}{r \cdot \sin\beta \cdot t^2}$, so wird hieraus

$$\mathfrak{T}_A = \frac{m \cdot r^2 \cdot g \cdot \sin\varepsilon \cdot \sin^2\beta \cdot t^2}{2 \cdot s}.$$

Rollt die Kugel auf einer Ebene, so wird $\sin\beta = 1$, also

$$\mathfrak{T}_A = \frac{m \cdot r^2 \cdot g \cdot \sin\varepsilon \cdot t^2}{2 \cdot s},$$

und diese Gleichung gilt nicht nur für die Kugel, sondern (entsprechend auch in allen obigen Untersuchungen) für alle eine Ebene gleichförmig beschleunigt hinabrollenden Körper (Walze, Räder etc.).

Es sei z. B. das Trägheitsmoment eines auf der Achse fest aufsitzenden Hohlräderpaares mit Speichen in bezug auf die Drehachse zu bestimmen. Rechnerisch wäre das nur dann möglich, wenn man die einzelnen Teile (Speichen, Achse, Kranz) ausmessen und ihre Masse bestimmen würde.

Nach dem hier angegebenen Verfahren braucht man nur die Gesamtmasse m zu bestimmen, den Achsen- und Raddurchmesser ($2\,\varrho$ und $2\,R$) zu messen und darauf das Räderpaar auf der Drehachse eine schiefe Ebene von bekannter Neigung hinunterrollen zu lassen. Dabei ergab sich z. B. $\sin\varepsilon = 0{,}039$, $s = 55$ cm, $\varrho = 0{,}266$ cm, $R = 7{,}5$ cm, $t = 15{,}85$ Sek., und es wird nach Transformation auf den Mittelpunkt

$$\mathfrak{T}_M = \mathfrak{T}_A - m \cdot \varrho^2 = m\varrho^2 \frac{g \cdot \sin\varepsilon \cdot t^2}{2s} - m\varrho^2 = m \cdot \varrho^2 \left(\frac{g \cdot t^2 \sin\varepsilon}{2s} - 1 \right).$$

Nach Einsetzen und entsprechender Umformung erhält man

$$\mathfrak{T}_M = m \cdot R^2 \cdot 0{,}433 \text{ cm}^2 \cdot g.$$

Zur Kontrolle kann man nun $\mathfrak{T}_M$ nochmals bestimmen, indem man die Räder auf dem Kranz rollen läßt.

Im Idealfall, der der Rechnung leichter zugänglich ist, würde das System aus 2 Rädern mit der gleichen Gesamtmasse m bei masselosen Speichen und masseloser Achse bestehen. Ist dann der innere Durchmesser des Radkranzes $2r = 6{,}5$ cm, so ergibt sich für das Trägheitsmoment

$$\mathfrak{T}'_M = 2 \left[\frac{m}{4} (R^2 + r^2) \right] = m \cdot R^2 \cdot 0{,}875 \text{ cm}^2 \cdot g.$$

Dieser Wert ist aber wesentlich zu groß, weil ja die recht beträchtliche Masse der Achse (8 cm lang), dazu die der 8 Speichen mit auf den Radkranz gelegt gedacht ist.

Ein mechanisches Hilfsmodell für den Carnotschen Kreisprozeß.

Von Dr. Berlage in Gronau i. W.

Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie und der Entropiebegriff sind philosophisch und technisch von solcher Bedeutung, daß man ihre Behandlung im Physikunterricht der Oberstufe nicht umgehen kann.

Leider bereitet aber kaum ein anderes physikalisches Problem den Schülern gleiche Schwierigkeiten. Schon die Begriffe eines umkehrbaren Prozesses und eines Kreisprozesses sind wegen ihrer Allgemeinheit schwer mit anschaulichem Inhalt auszufüllen; und der Carnotsche Kreisprozeß erscheint dem Schüler meistens als ein wirklichkeitsfremdes Begriffsmonstrum. Die geniale unmittelbare Verwirklichung dieses Gedankenexperimentes durch den Apparat von E. Schulze (*diese Zeitschr. 34, 1921, S. 102f.*) wird wegen der kostspieligen Glasteile und des großen Quecksilberbedarfes jetzt nur wenig Schulen zugänglich sein. Die Vorgänge in diesem Apparat sind auch so kompliziert, und ihre Vorführung erfordert so viel Zeit, daß der Gebrauch im Unterricht nur dann zweckmäßig erscheint, wenn die Zeit sehr reichlich zur Verfügung steht.

Man pflegt sich deshalb mit Schwamm und Kreide zu helfen und die Darstellung des Carnotschen Kreisprozesses mit den bekannten fünf Zylinderabbildungen zu beginnen. Bild I Anfangsstellung des Kolbens. Bild II Stellung nach der ersten isothermischen Ausdehnung, Bild III Stellung nach weiterer adiabatischer Ausdehnung, Bild IV nach isothermischer und Bild V nach adiabatischer Zusammendrückung des Gases (Bild V gleich Bild I).

So anschaulich diese Bilder auch sind, so lassen sie den Lernenden vollkommen darüber im Unklaren, wo der Arbeitsgewinn des Prozesses herkommt, weil sie wohl die Wege des Kolbens, aber nicht die jeweiligen Drucke veranschaulichen. Die Lücke wird ausgefüllt durch die Anzeichnung des PV-Diagramms mit dem charakteristischen Arbeitskurvenviereck zwischen den beiden Isothermen und Adiabaten. Die Integration über dieses Viereck ergibt unter Anwendung der Zustandsgleichung und der Poissonschen Gleichung das bekannte Verhältnis $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$ oder $Q_1 - Q_2 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1 = \mu \cdot Q_1$, wobei Q_1, Q_2 die entzogene resp. abgegebene Wärmemenge, T_1 und T_2 die absoluten Temperaturen der beiden Wärmebehälter und μ also der Wirkungsgrad des Kreisprozesses sind. — Die Schüler, mit denen man diese Rechnungen durchgeführt hat, meinen natürlich alles verstanden zu haben. Fragt man sie aber am Schlusse der Erörterung, wie der Arbeitsgewinn des Prozesses eigentlich anschaulich aus den rein mechanischen Vorgängen zu erklären sei, so herrscht ein großes Schweigen. Wenn man Arbeit gewinnen wollte, so kam es rein mechanisch bei der Gleichheit von Hin- und Rückweg ja nur darauf an, den Rückweg unter geringerem Druck zu durchlaufen als den Hinweg. Das wurde aber erreicht, indem beim Hinweg die langsamere (isothermische) Ausdehnung des Gases der rascheren (adiabatischen) voranging, während es bei der Zusammendrückung des Gases auf dem Rückweg umgekehrt war.

Das Interesse der Schüler wird von vornherein ganz anders gefesselt, wenn man die Darstellung des Prozesses mit der Veranschaulichung dieser seiner rein mechanischen Seite beginnt. Ich habe dafür mit Hilfe zweier Spiralfedern von verschiedener Dehnbarkeit den im folgenden beschriebenen einfachen Apparat benutzt, an dem man zugleich das Wesen der Umkehrbarkeit eines Prozesses gut veranschaulichen kann (Fig. 1).

R ist das ja auch sonst viel gebrauchte große hölzerne Rahmenstativ. An der verschiebbaren und beliebig festschraubbaren Klammer K hängen an einem Stift zwei Spiralfedern gleicher Konstruktion F_1 und F_2, von denen F_1 genau doppelt so lang ist als F_2, also eine doppelt so kleine Federkonstante besitzt.

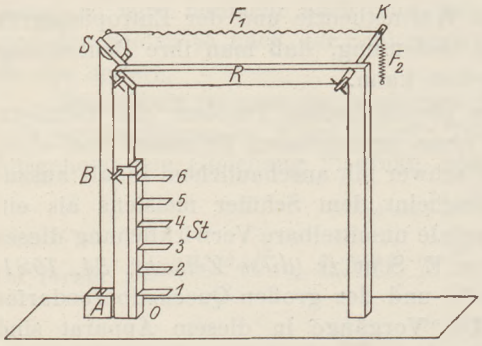


Fig. 1.

Beide können durch Haken an die Schnur B angehakt werden, welche über die Rolle S laufend den oben und an einer Seite offenen Blechkasten A trägt. Dieser enthält so viel gleich schwere Gewichtsstücke, daß bei Beginn des Versuches die angespannte Feder F_1 den Kasten gerade unmittelbar über dem Boden des Stativs im Gleichgewicht hält. An dem senkrechten Rahmenpfosten ist innen noch ein Brett mit Stufen St aus Bandeisen angeklemmt, deren Weite so gewählt ist, daß sie gleich der Streckung der großen Feder F_1 durch eins der im Blechkasten liegenden Gewichte ist.

Legen wir nun ein Gewicht vom Boden des Kastens auf Stufe 0 in Bodenhöhe, so steigt der Kasten, ohne daß wir Arbeit leisten, bis Stufe 1. Hier wird wieder ein Gewicht abgenommen und (ohne Arbeit!) auf 1 gelegt. Der Kasten steigt bis Stufe 2, und nach Herausnahme wieder eines Gewichtes, das auf 2 gelegt wird, nach 3. Ein Teil der (potentiellen) Federenergie hat sich dabei in Lageenergie des Kastens und der herausgenommenen Gewichte verwandelt. Dieser Energiewandelungsprozeß ist umkehrbar, denn auf jeder Stufe können wir durch Zurücklegung des betreffenden Gewichtes in den Kasten die Energiewandelung rückgängig machen. Nach Zurücklegung der 3 Gewichte befindet sich der Kasten wieder in Bodenhöhe, und die Feder hat die Anfangsspannung wieder. Wir haben deshalb einen umkehrbaren Kreisprozeß durchlaufen. Hierbei wurden aber zwei Umstände vernachlässigt: Wir mußten den Kasten auf jeder Stufe, indem wir ihn mit der Hand etwas hoben und senkten, in seiner wirklichen Gleichgewichtslage ausbalancieren. Ohne diese Manipulation wäre er wegen der Reibung der Rolle auf jeder Stufe etwas zurückgeblieben, und der ganze Vorgang wäre nicht umkehrbar gewesen. Weniger selbstverständlich ist die zweite Abweichung unseres Experimentes von der Forderung der Umkehrbarkeit: Während der Kasten in Höhe 3 war, befand sich das Gewicht, welches wir in ihn zurücklegen mußten, auf Stufe 2. Ebenso war es in den anderen Stadien der Umkehrung: Der Kasten befand sich stets um eine Stufe höher als das entsprechende Gewicht, und wir mußten bei Rückwandlung der Lageenergie in die Federspannung durch Heben der Gewichte selber von außen Arbeit leisten. Diese Arbeit wäre aber, wenn wir die Stufen und damit die Einzelgewichte n mal so klein gewählt hätten, auch n mal so klein gewesen. Denn nehmen wir unsere Stufenentfernung zur Längeneinheit und bezeichnen ein Einzelgewicht mit p, so war die Arbeit bei Hebung eines Gewichts um eine Stufe $A = p \cdot 1$. Beträgt das Gewicht nur $\frac{p}{n}$, und ist die Stufenentfernung entsprechend $\frac{1}{n}$, so ist die Arbeit für die neue Stufenentfernung $\frac{p}{n} \cdot \frac{1}{n}$, für die ursprüngliche also $\frac{p}{n} \cdot \frac{1}{n} \cdot n = \frac{p}{n}$. Dieser Ausdruck wird für limes $n = \infty$ zu 0. — Damit ein Prozeß umkehrbar sei, muß er also nicht allein reibungslos verlaufen, sondern sich auch in unendlich kleinen Stufen unendlich langsam vollziehen. Die jeweilig wirkenden Kräfte dürfen nur unendlich wenig verschieden sein. Diese letzte Forderung leuchtet den Schülern ohne eine Veranschaulichung der beschriebenen Art nie recht ein.

Wir wollen nun stets von den beiden Mängeln unseres Prozesses absehen und so tun, als ob die Reibung fehlte und unsere Stufen unendlich klein wären. Dann haben wir also einen umkehrbaren Kreisprozeß durchlaufen und dabei weder Arbeit geleistet noch gewonnen.

Wir heben jetzt den Kasten wieder in der beschriebenen Weise bis Stufe 3 (je ein Gewicht auf Stufe 0, 1, 2); dann haken wir Feder F_2 statt F_1 ein und verschieben K am Rahmen soweit nach links, bis Kasten A wieder in Höhe 3 im Gleichgewicht ist, die Spannung von F_2 also den gleichen Wert hat wie vorher die Spannung von F_1. Da Feder F_2 doppelt so kurz ist als F_1 (Federkonstante doppelt so groß), müssen wir jetzt je zwei Gewichte herausnehmen, um die weitere Hebung um je eine Stufe zu bewirken. Wir bringen dadurch den Kasten von Stufe 3 nach Stufe 6 (je zwei Gewichte auf Stufe 3, 4, 5). Dann spannen wir unter Rechtsverschiebung von K wieder Feder F_1 so ein, daß sie den Kasten in Höhe von Stufe 6 hält. Wir bringen nun den Kasten wieder nach Stufe 3, indem wir von den auf 5, 4 und 3 liegenden je zwei Gewichten je eins (Federkonstante von F_1) in den Kasten zurücklegen. Dann haken wir unter neuerlicher Verschiebung von K wieder Feder F_2 ein und bringen den Kasten von Stufe 3 nach 2, indem wir die Gewichte von Stufe 2 und 5 hineinlegen, darauf nach Stufe 1 durch Hineinlegen der Gewichte von *1* und *4*, endlich nach Stufe *0* durch die Gewichte von Stufe 0 und 3. — Haken wir jetzt statt F_1 wieder F_2 unter Ausbalancieren ein, so ist das Anfangsstadium wieder erreicht. Wir haben wiederum (von den beiden Mängeln stets abgesehen!) einen umkehrbaren Kreisprozeß durchlaufen. Aber wir haben jetzt Arbeit gewonnen. Denn von den 6 Gewichten, die wir zuletzt in 3 Stufen in den Kasten hineinlegten, lagen 3 um je 3 Stufen zu hoch. Sie hätten also bei Senkung um je 3 Stufen eine Arbeit (nach den obigen Maßeinheiten) von 9 p leisten können. Damit haben wir im Prinzip den Arbeitsgewinn im Carnotschen Kreisprozeß mechanisch veranschaulicht. Denn denken wir uns statt des Gewichtskastens einen Kolben in einem unten dichten Zylinder verschiebbar, und statt der Feder oberhalb des Kastens ein komprimiertes Gas in dem Zylinder unterhalb des Kolbens, so können wir Arbeit gewinnen, indem wir das Gas bei stufenweiser Herabnahme der Gewichte sich zunächst bei hoher Temperatur T_1 isothermisch ausdehnen lassen (langsame Druckabnahme, entsprechend der langsamen Spannungsabnahme von Feder F_1), dann adiabatisch (rasche Druckabnahme, entsprechend rascher Spannungsabnahme von F_2) Endtemperatur $T_2 < T_1$. Bei stufenweiser Wiederauflegung der Gewichte können wir dann das Gas isotherm bei T_2 zusammendrücken (zweite Einhakung von Feder F_1 mit schwächerer Spannung als beim ersten Einhaken, langsame Spannungszunahme) und schließlich adiabatisch bis zum Anfangsstadium, entsprechend der zweiten Einhakung von Feder F_2 (rasche Druckzunahme bei adiabatischer Zusammendrückung, entsprechend rascher Spannungszunahme von Feder F_2).

In beiden Fällen haben wir einen umkehrbaren Kreisprozeß in vier Stadien zurückgelegt, wenn wir das System, auf welches wir den Kreisprozeß beziehen, richtig abgrenzen. (So müssen wir beim Carnot-Prozeß das System auf die Vorgänge im Zylinder beschränken. Wir dürfen, damit der Prozeß im Kreise verläuft und umkehrbar bleibt, die beiden Wärmereservoire nicht mit in das System einbeziehen. Ebenso beschränken wir das System unseres Vergleichsprozesses auf die unmittelbar mit Hebung und Senkung des Kastens zusammenhängenden Vorgänge. Die Abspannung und Neuanspannung der Federn bei den Übergängen der vier Stadien ineinander lassen wir außer Betracht!

In beiden Fällen haben wir in den beiden ersten Stadien durch Ausdehnung des Gases entsprechend der Zusammenziehung der Federn Arbeit gewonnen; dagegen in den beiden zweiten Stadien durch Zusammendrücken des Gases entsprechend der Wiederreckung der Federn einen Teil der gewonnenen Arbeit wieder hergegeben.

In beiden Fällen ist der Arbeitsgewinn der beiden ersten Stadien größer als der Arbeitsverlust der beiden letzten. Dieser Überschuß wird im Carnot-Prozeß ebenso wie bei unserem Modell dadurch erreicht, daß in den beiden ersten Stadien der Prozeß mit langsamerer Druck- resp. Spannungsänderung vorangeht, und daß sich diese Reihenfolge in den beiden letzten Stadien umkehrt.

Damit ist allerdings die Analogie zwischen unserem rein mechanischen Kreisprozeß und dem Carnotschen erschöpft. Es ist aber sehr instruktiv für die Schüler und führt zu einer tieferen Erfassung des Carnotschen Prozesses, wenn man die Unterschiede in genauerer Vergleichung noch hervorhebt. Hierbei sehen wir wieder von der Endlichkeit der Stufen, in denen wir notgedrungen unseren Kreisprozeß durchlaufen mußten, ab.

Das Diagramm unseres Prozesses (Fig. 2) enthält keine gekrümmten Kurven wie die Isothermen und Adiabaten des Carnot-Prozesses; sondern weil die Federspannung eine lineare Funktion der Federreckung, also des Weges ist, erhalten wir lauter gerade Linien. Bei Benutzung der beiden gleichen Federn in je zwei sich entsprechenden Stadien ergibt sich ein Parallelogramm.

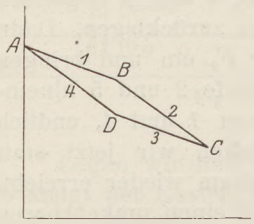


Fig. 2.

Auch sind in unserem Prozeß nicht die Arbeitswerte in Stadium 2 und 4 einander entgegengesetzt gleich wie die adiabatischen Arbeitswerte des Carnotschen Kreisprozesses, sondern der Arbeitswert von AD ist wegen seiner höheren Lage bei gleicher Richtung und Länge größer. Hier geht also wieder ein Teil der Arbeit verloren, die in dem Stadium 1 gegen 3 gewonnen ist. Berechnen wir unter Benutzung der oben eingeführten Maßeinheiten die Fläche des Parallelogramms, so erhalten wir durch einfache Rechnung $F = 9p$, also den Wert, den wir durch Herunterbringen der 3 Gewichte p um je 3 Stufen so anschaulich vor Augen hatten. —

Der grundlegende Unterschied zwischen unserem rein mechanischen Prozeß und der Carnotschen Wärmemaschine liegt aber darin, daß wir diese Arbeit, die wir unten gewonnen haben, oben bei Reckung der einzuhakenden Federn natürlich selber wieder leisten müssen. Es ist eine hübsche Übung für die Schüler, auszurechnen, daß sich tatsächlich die von uns zu leistende Arbeit $9\,p$ ergibt, wenn wir die beim Abspannen der Federn in ihnen noch enthaltenen (also ausnutzbaren) Energiewerte von den Arbeitswerten bei Reckung der einzuhakenden Federn subtrahieren. Die Rechnung erfordert keine Integrationen, weil man wegen der Proportionalität zwischen Weg- und Spannungszunahme mit der arithmetischen Mittelspannung der Federn rechnen kann; z. B. Feder F_1 hatte, wenn wir ihre Anfangsspannung mit np bezeichnen und die oben eingeführten Maßeinheiten behalten, beim ersten Aushaken die Spannung $(n-3)\cdot p$, sie enthielt also eine Reserveenergie von $\frac{(n-3)\cdot p + 0\cdot p}{2}\cdot(n-3) = \frac{(n-3)^2}{2}\cdot p\cdot$ usw.

Nach dieser Rechnung wird man auf den großen Vorteil der Wärmemaschine hinweisen, welche den gewonnenen Arbeitsbetrag dem wärmeren Reservoir in Form von Wärme entnimmt. Wenn jetzt der Wirkungsgrad des Carnotschen Kreisprozesses berechnet wird, so kommt der Lernende gar nicht mehr auf den Gedanken, daß das Energieprinzip durch den Wirkungsgrad dieses Prozesses irgendwie berührt wird. Die Trennung zwischen dem ersten und zweiten Hauptsatz ist in Fleisch und Blut übergegangen. —

Als „Wirkungsgrad“ unseres Kreisprozesses könnten wir den Bruch

$$\frac{\text{Arbeitsgewinn des Kreisprozesses}}{\text{Arbeitsgewinn der beiden ersten Stadien}}$$

definieren. Diese Definition würde aber, auf den Carnot-Prozeß angewandt, falsch

sein. Das führt zur Aufdeckung eines neuen Unterschiedes zwischen den beiden Prozessen:

Beim Carnotschen Prozeß hat man die durch die absolute Temperatur des Gases bestimmte, im Gas enthaltene Energiemenge von der durch Wärmeabgabe oder -Aufnahme von außen zugeführten bzw. abgeführten Energiemenge zu unterscheiden. Da das Gas im Carnotschen Kreisprozeß ja nur die Rolle eines Vermittlers spielt, durch den man dem wärmeren Reservoir Wärme entzieht, um einen möglichst großen Teil dieser Wärme in Arbeit umzusetzen, so spielt bei Berechnung des Wirkungsgrades die vorübergehende Änderung der inneren Energie des Gases bei der adiabatischen Ausdehnung (die in der adiabatischen Zusammendrückung wieder rückgängig gemacht wird) keine Rolle. Man definiert deshalb als Wirkungsgrad den Bruch

$$\frac{\text{Nutzbare Wärmemenge}}{\text{Dem wärmeren Reservoir entzogene Wärmemenge}}.$$

Die in Stadium 2 und 4 gewonnenen und wieder hergegebenen Arbeitswerte dürfen nicht mit in den Zähler und Nenner des Bruches hineingesetzt werden (sie würden nur den Nenner ändern). Für diese thermisch bedingte Definition des Wirkungsgrades beim Carnot-Prozeß gibt es in unserem rein mechanischen Vergleichsprozeß kein Analogon. —

Sehr anschaulich läßt sich dagegen an unserem Modell die Tatsache zeigen, daß bei rückwärtigem Durchlaufen des ganzen Kreisprozesses genau der gleiche Arbeitsprozeß geleistet werden muß, der früher gewonnen wurde. Man hat bei rückwärtigem Durchlaufen die drei Gewichte (weil jetzt auf den drei untersten Stufen je zwei liegen) um je drei Stufen hinaufzutransportieren, also die Arbeit $9\,p$ zu leisten.

In der beschriebenen Form wurde die Vorrichtung in unserer Schulwerkstatt hergestellt. Nachteilig ist das leicht eintretende Schiefhängen des Gewichtskastens und die allzustarke Reibung der Rolle. Den ersten Übelstand kann man beseitigen, wenn man anstatt des Kastens einen Plattengewichtssatz mit Schlitzen und Gewichtsteller (Fallmaschine!) verwendet. Der zweite Nachteil fällt fort, wenn man zur Befestigung der Spiralfedern statt des wagerechten Rahmenstativbalkens ein senkrechtes Gestell benutzt. Das jedesmalige Ausprobieren der Gleichgewichtslage beim Umschalten der Federn endlich kann durch Markierungen vermieden werden.

Über selbstgefertigte Geräte zur Demonstration elektrischer Schwingungen mit Anwendung auf den Blitzableiter.

Von

W. Möller in Neustettin.

In Weinholds Vorwort zu seinen physikalischen Demonstrationen steht u. a. der Satz: „Keinesfalls kann einem oft noch durch andere Unterrichtsfächer in Anspruch genommenen Lehrer der Physik zugemutet werden, daß er einen großen Teil der erforderlichen Apparate selbst herstellen solle.“ — Die guten Zeiten, die die Voraussetzung für diesen Satz waren, sind heute leider vorbei. Heute muß der physikalische Fachlehrer mehr denn je seine Arbeiten auch auf die Selbstanfertigung geeigneter Apparate einstellen. Ein Weg, auf dem dieses Ziel ohne Überlastung des Physiklehrers erreicht werden kann, ist meines Erachtens der, daß er die Leitung des Handfertigkeitsunterrichts übernimmt. Derartiger praktischer Unterricht ist wiederholt als

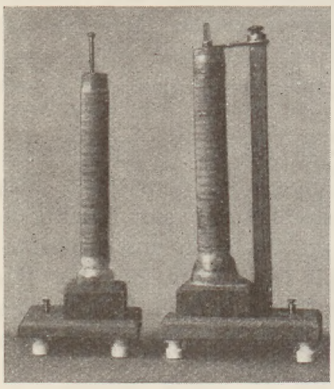
wünschenswert bezeichnet worden. An einigen Schulen ist er bereits auf Grund des bekannten Ministerialerlasses eingeführt[1]).

Liegt nun dieser Unterricht in den Händen des physikalischen Fachlehrers, so hat er die Möglichkeit, viele Aufgaben im Zusammenhang mit dem Physikunterricht zu stellen und die Schüler in erster Linie produktiv für das physikalische Laboratorium arbeiten zu lassen[2]).

Im folgenden sollen einige Apparate, die im Handfertigkeitsunterricht (3 Stunden in der Woche) von Schülern der Klassen U III—O II hergestellt worden sind, genauer beschrieben werden.

I. Elektrische Resonanzversuche mit selbstgefertigten Seibtschen Strahlspulen.

Die nachfolgenden Versuche mit den Seibtschen Strahlspulen stehen sämtlich im Dienste der Vorbereitung der drahtlosen abgestimmten Wellentelegraphie. Verfasser denkt sich diese Versuche unmittelbar im Anschluß an den Marconi-Sender und -Empfänger. Die umstrittene Frage, ob die Behandlung einzelner funkentelegraphischer Systeme noch in den Rahmen unseres höheren Schulunterrichts hineingehört, soll hier nicht angeschnitten werden. Sicher wird gelegentlich bei guten Schülerjahrgängen der Physiklehrer gerne auch einmal über das Marconisystem hinaus etwas tiefer in dieses Gebiet vorfühlen wollen, und dann sind in der Tat die Versuche mit den Seibtschen Spulen eine gute Grundlage, an die jeder kürzere oder längere Weg in die drahtlose Telegraphie hinein leicht angeschlossen werden kann.



a b

Fig. 1.

1. Herstellung der Strahlspulen. Auf der Drehbank werden einige Petroleumlampenzylinder mit einer Lage von 0,1 mm starkem isoliertem Kupferdraht bewickelt. Der Draht wird mit Paraffin auf dem Glas festgeklebt. Die Spulen werden mit dem Zylinderfuß in einem Grundbrett mit Paraffin oder Kitt eingebettet. Das untere Ende des Spulendrahtes führt zu einer Klemmschraube auf dem Grundbrett, das obere Ende wird an eine größere Messingschraube gelegt, die in einem Korken auf dem Zylinder steckt, wie Fig. 1a zeigt.

Verfasser hat insgesamt vier Spulen von Schülern herstellen lassen. Ihre Maße sind:

Spule I hat einen Durchm. von 2,5 cm und eine Höhe von 17 cm
Spule II „ „ „ „ 2,75 cm „ „ „ „ 19 cm
Spule III „ „ „ „ 3 cm „ „ „ „ 21,5 cm

Spule IV ist der Spule III kongruent, nur ist ihr oberes Ende nicht zum Strahlen eingerichtet, sondern hier führt der Draht des bequemeren Anschlusses halber zu einer Klemmschraube, die auf einer kleinen Säule steht, wie in Fig. 1b angegeben.

2. Herstellung von Spulen veränderlicher Selbstinduktion. Zwei Abstimmspulen werden nach Art der Ruhstratschen Schieberwiderstände angefertigt, wo ein auf dem Solenoid gleitender Schleifkontakt die Anzahl der Windungen ändert. Die Spulen bestehen aus Kupferdraht von 4 mm Querschnitt. Der Durchmesser der

[1]) Am Fürstin Hedwig-Gymnasium in Neustettin wurden die erforderlichen Geldmittel von den Schülereltern gestiftet. Außer leichten Arbeiten an Hobelbank, Drehbank und Schraubstock werden hier auch Buchbinderarbeiten vorgenommen.

[2]) Professor Wehnelts Buch „Das Handfertigkeitspraktikum“ (Braunschweig, bei Friedr. Vieweg u. Voß) gibt für solche Arbeiten ausgezeichnete Hilfen (vgl. *diese Zeitschr. 34, 187*).

Windungen beträgt 6 cm, der Abstand der einzelnen Windungen etwa $^1/_2$ cm. Eine Spule hat 30 Windungen, die andere 40 Windungen. Fig. 2 zeigt eine Photographie einer solchen variablen Selbstinduktion, die von einem Untersekundaner gearbeitet worden ist. Die verschiebbare Brücke gleitet auf zwei Glasstäben, sie besteht aus Holz und trägt eine Feder aus Messingblech, die mit sicherem Kontakt über die Windungen hinweggleitet. Um den einzelnen Windungen eine festere Lage zu geben, ist die Spule in einen Holztrog eingebettet und darin mit etwas Paraffin festgelegt.

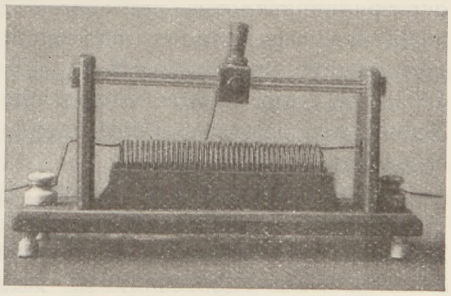


Fig. 2.

Als Holz wurde Eichenholz verwendet, dem man durch einfachen Firnisanstrich ein wohlgefälliges Aussehen geben kann.

Die Größe der Selbstinduktion einer solchen Spule ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$L = \frac{4\,\pi^2\,n^2 \cdot q}{l},$$

wo n die Anzahl der Windungen, q der Querschnitt und l die Länge der Spule bedeuten.

Eine andere ebenfalls leicht selbstherzustellende veränderliche Selbstinduktion beschreibt Grimsehl in dieser Zeitschrift 21, 4 (1908).

3. Grundversuche. An einen aus Kapazität (Kleistsche Flasche), Funkenstrecke und variabler Selbstinduktion bestehenden geschlossenen Schwingungskreis wird eine der drei Spulen galvanisch gekoppelt, wie es das Schaltungsschema der Fig. 3 zeigt.

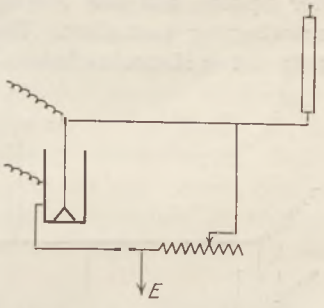


Fig. 3.

Durch diese Verbindung wird die Spule zu lebhaftem Mitschwingen angeregt, wenn ihre Eigenschwingung mit der des geschlossenen Schwingungskreises übereinstimmt. Für die Schwingungsdauer T einer Entladungsperiode des Primärkreises gilt die Thomson-Kirchhoffsche Formel:

$$T = 2\,\pi\,\sqrt{L\,C},$$

wo C Kapazität, L Selbstinduktion bedeutet.

Langsamere Schwingungen im Primärkreis werden erhalten, erstens durch Vergrößern der Zahl der Kleistschen Flaschen, zweitens durch Verlängern der eingeschalteten Selbstinduktionsspulen.

Ist die primäre Schwingung durch Verändern der Kapazität oder der Selbstinduktion der Eigenschwingung der Spule richtig angepaßt, so zeigt sich deren Resonanz in lebhaftem Funkensprühen[1]). Die maximale Resonanz ist sehr deutlich und leicht zu finden. Werden nur einige Windungen der Selbstinduktion mehr oder weniger eingeschaltet, so versiegt sofort die Funkenstrahlung der Spule.

Um die strahlende Spule herum befindet sich ein starkes elektrisches Kraftfeld, in dem Geißler-Röhren und Glimmlampen ohne direkte Drahtverbindung aufleuchten.

Darauf, daß in der Strahlspule Wechselstrom fließt, kann man mit der Holtzschen

[1]) Verfasser hatte im primären Schwingungskreis eine einzige Kleistsche Flasche (9 cm Durchmesser und 15 cm äußere Belegungshöhe und die zwei oben beschriebenen Abstimmungsspulen) und konnte lediglich durch Verändern der Selbstinduktion alle drei angefertigten Spulen damit zur Resonanz bringen.

Doppelventilröhre hinweisen, indem man sie einpolig mit dem oberen Drahtende der Spule verbindet.

Die Spule schwingt nahezu als eine Viertelwellenlänge. Am unteren Ende liegt der Spannungsknoten, am oberen Ende der Spannungsbauch. Man kann dies sehr leicht nachweisen, indem man mit irgend einem metallischen Leiter an der Spule in geringem Abstand entlang fährt. [Ohne Gefahr anzufassen, keine starke physiologische Wirkung.] Am unteren Spulenende springen keine Funken zu ihm über, in der Mitte treten schwache Funken auf, die stärksten Funken schießen aus dem oberen Spulenende zu ihm über.

Akustischer Parallelversuch: Eine Luftsäule in einem Glaszylinder wird durch eine darüber gehaltene Stimmgabel zum Mitschwingen angeregt, wenn der durch Einfüllen von Wasser in den Zylinder veränderliche Eigenton der Luftsäule auf den Stimmgabelton abgestimmt ist. Auch hier schwingt die Luftsäule als eine Viertelwellenlänge, deren Schwingungsbauch sich am oberen Zylinder befindet.

4. Teslaversuche mit der Strahlspule. Das obere Drahtende der Spule wird mit einer größeren metallischen Kugel verbunden. Um die Kugel herum entsteht ein starkes elektrisches Kraftfeld, in dem genau so wie bei dem bekannten Teslaversuch Geißlerröhren und — in noch größerer Entfernung als diese — Glimmlampen aufleuchten.

Auch das Teslafeld zwischen den beiden Drahtnetzen kann man mit der Strahlspule erzeugen, wenn man je ein Drahtnetz an das obere und untere Ende des Spulendrahtes anschließt.

Bei diesen Teslaversuchen ist jedoch zu bedenken, daß man durch Belastung der Spulen mit den Kapazitäten der Metallkugel oder der Drahtnetze deren Eigenschwingung verändert. Diesem Umstand muß man dadurch Rechnung tragen, daß man durch Mehreinschalten einiger Selbstinduktionswindungen die primäre Schwingung auch entsprechend verlangsamt.

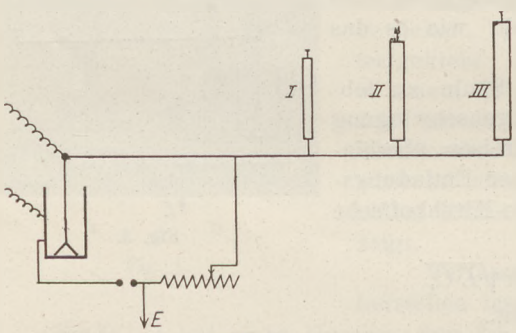


Fig. 4.

Jede Teslasekundärspule kann auch in der Seibtschen Schaltung als Strahlspule verwendet werden.

5. Die drei verschieden großen Spulen I, II und III werden zu gleicher Zeit an den geschlossenen Schwingungskreis angeschlossen, wie in Fig. 4 angedeutet.

Dabei dürfen die Spulen nicht zu nahe beieinander stehen, damit nicht die eine Spule in dem Kraftfeld der andern liegt. Man stellt die variable Selbstinduktion des Primärkreises zunächst auf die Resonanz mit der kleinen Spule I ein. Darauf schaltet man einige Windungen der Abstimmspule hinzu. Spule I hört auf zu strahlen und Spule II beginnt damit. Durch weiteres Hinzuschalten einiger Selbstinduktionswindungen erhält man nach der Resonanz von II auch die Maximalwirkung von III.

Verfasser hatte im Primärkreis eine Kleistsche Flasche von oben angegebener Größe und beide Abstimmspulen. Bei den angegebenen Maßen der Strahlspulen lagen ihre Resonanzen sämtlich auf der zweiten Abstimmspule.

Man hat in dieser Versuchsanordnung ein außerordentlich anschauliches Mittel, den Schülern die Thomson-Kirchhofsche Schwingungsformel zu erklären. Durch Vergrößern der Selbstinduktion wird die Schwingungsdauer im Primärkreis verlangsamt. Die kürzere Schwingungsdauer gehört zur Strahlspule I, die längere zur Strahlspule III.

(Akustischer Parallelversuch: Von drei verschieden großen ungedeckten Pfeifen hat die kleinere die schnelleren Schwingungen und den höheren Ton. Je größer die

Luftsäule in der Pfeife, desto langsamer werden ihre Schwingungen und desto tiefer ihr Ton.)

Auf das bequeme Unterrichtsmittel der verschieden großen Seibtschen Strahlspulen, mit deren Hilfe man die Bedeutung der für Schwingungsdauer und Wellenlänge maßgebenden Faktoren in der Formel $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ leicht und anschaulich erklären kann, hat schon Grimsehl in seinem Vortrag auf dem Baseler Philologentag (Monatshefte für naturwissenschaftlichen Unterricht 1908 S. 289—299) hingewiesen. Auch Poske macht in seiner Didaktik des physikalischen Unterrichts darauf aufmerksam.

Bisher ist nur der Faktor L der Selbstinduktion geändert worden. Man kann aber auch an derselben Versuchsanordnung den Einfluß der Kapazitätsänderungen zeigen. Es sei z. B. der primäre Schwingungskreis auf die Resonanz der Spule III eingestellt. Vergrößert man die Kapazität der Spule I, indem man ihre obere Strahlschraube z. B. mit einem isoliert angefaßten Stück Blech berührt (etwa 9×12 cm, genau passende Größe leicht durch Versuch herauszufinden), so strahlt auch Spule I wieder.

Der Einfluß von Kapazitätsänderungen auf die Eigenschwingung der Strahlspulen geht auch aus folgenden Versuchen hervor. Der Primärkreis sei auf das Maximum der Funkenstrahlung irgend einer der Spulen eingestellt. Man berührt das obere Ende mit einer isoliert gehaltenen Metallkugel oder Blechplatte. Sofort ist durch diese Kapazitätsvergrößerung die Spule verstimmt, die Strahlung hört auf. Nimmt man die Kugel oder Platte fort, so setzt die Resonanzwirkung sogleich wieder ein. Um bei berührender Kugel oder Platte die Resonanz wieder zu erhalten, muß man im Primärkreis die entsprechende Zahl von Selbstinduktionswindungen hinzuschalten. Nach diesem Neuabstimmen verhalten sich die Funken gerade umgekehrt. Sie verschwinden sofort, wenn man den Kapazitätszuwachs wieder fortnimmt.

Ganz grobe Verstimmungen der strahlenden Spule erhält man durch Berühren des oberen Spulenrandes mit der Hand. (Keine besonderen physiologischen Wirkungen.)

Bemerkt sei zu diesem Versuch noch, daß, wenn eine Spule das Maximum der Strahlung zeigt, die anderen Spulen trotzdem immer schwach mitschwingen. Daher ist es nicht möglich, die Resonanz der Spulen durch einpolig an den oberen Spulendraht angeschlossene Geißlerröhren zu zeigen. Im allgemeinen sprechen die Geißlerröhren so leicht an, daß sie auch bei den schwächer mitschwingenden Spulen aufleuchten.

6. Resonanzwirkungen zwischen zwei Strahlspulen. Eine strahlende Seibtsche Spule regt in einiger Entfernung eine andere kongruente Spule zum Mitschwingen an.

In der Seibtschen Schaltung ist die Strahlspule als offenes Schwingungssystem mit einem geschlossenen zusammengekoppelt. Ein offenes elektrisches Schwingungssystem hat immer eine gewisse Fernwirkung. Der Nachweis dieser Fernwirkung wird mit den kongruenten Spulen III und IV in der in Fig. 5 angegebenen Schaltung geführt. Der Spule III wird in einiger Entfernung ($1^1/_2$—2 m) die kongruente Spule IV gegenübergestellt.

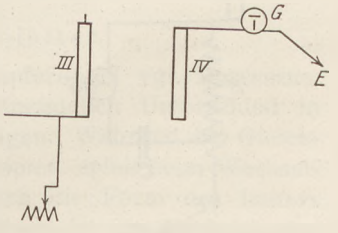


Fig. 5.

An den Spannungsbauch der Spule IV wird eine geerdete Glimmlampe G angeschlossen. Wenn die Spule III strahlt, leuchtet diese Lampe auf, Hierbei erweist sich die Glimmlampe als ein sehr viel empfindlicheres Reagens als eine Geißlerröhre, sie spricht schon in bedeutend größerer Entfernung an.

Von diesem Versuch führt der Weg ohne weiteres in das Gebiet der abgestimmten Wellentelegraphie hinein. Die auf der Senderstation III gegebenen Morsezeichen werden auf der Empfangsstation IV als Lichtmorsezeichen mit der Glimmlampe aufgenommen.

Noch anschaulicher wird das Wesen der abgestimmten Wellentelegraphie, wenn man auf der Seite der Sendestation alle drei Strahlspulen I, II und III aufstellt, wie in Fig. 6 angedeutet.

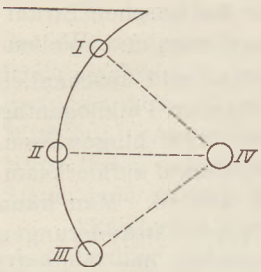


Fig. 6.

Gleich weit entfernt von allen drei Sendespulen steht die Empfangsspule IV. Die Station IV kann nur die Zeichen der Station III hören. Senden die beiden anderen Spulen I und II, so bleibt die Glimmlampe der Station IV dunkel. Station IV ist nur auf die Wellenlänge der Station III eingestellt[1]). Die Bedingung der Resonanz ist nach der Thomson-Kirchhofschen Schwingungsformel

$$C_1 \; L_1 = C_2 \cdot L_2.$$

Die aus diesem Versuch gewonnene Erkenntnis über die Bedeutung der Formel $C_1 \cdot L_1 = C_2 \cdot L_2$ kann man durch eine kleine Variation der Anordnung noch weiter vertiefen. Statt der Spule IV wird den Sendespulen II und III die Spule I als Empfangsspule gegenübergestellt. Wodurch kann die Spule I auf die Wellenlängen der Sender II und III abgestimmt werden?

Es kommt darauf an, durch entsprechende Kapazitäts- oder Selbstinduktionsvergrößerungen der Spule I dieselbe Eigenschwingung wie den Spulen II und III zu geben. Zu diesem Zweck hat Verfasser auf einem kleinen Zylinder kürzere Abschnitte von je 10 und 20 Windungen eines 0,1 mm starken Drahtes mit geringen Zwischenräumen voneinander bewickeln lassen. Indem diese Windungen nacheinander der Spule I hinzugeschaltet werden, stimmt man I auf die Spule II oder III ab. Die mit I verbundene Glimmlampe gibt auf diese Art auch die Morsezeichen von II und III wieder.

Leichter und anschaulicher für Schüler ist ihnen wohl kaum die Frage zu erklären, wie eine Empfangsstation nacheinander aufnahmefähig für verschiedene Sender mit verschieden langen Wellen gemacht werden kann, und worin die Ursache liegt, daß der an der Empfangsstation arbeitende Telegraphist aus dem geschwätzigen Äthermeer, in das alle möglichen Stationen ihre Wellenzeichen aussenden, nur die Station hört, auf deren Wellenlänge er seinen Apparat eingestellt hat, und daß dabei Gespräche anderer Stationen mit anderen Wellenlängen überhaupt nicht stören können.

7. Das Braunsche System mit den Seibtschen Spulen III und IV. Mit der Auswertung der Versuche 6 sind die Schüler schon mitten in die wichtigsten Grundtatsachen der abgestimmten Wellentelegraphie eingeführt. Die Art der Schaltung der Strahlspule an den geschlossenen Schwingungskreis ist im wesentlichen dieselbe wie die des Braunschen Senders. Will man bei dieser Gelegenheit die Braunsche

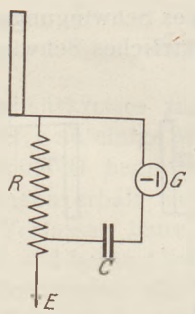


Fig. 7.

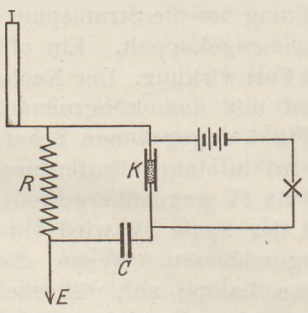


Fig. 8.

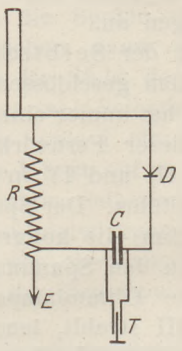


Fig. 9.

In den Schaltungsskizzen bedeuten:
R = Selbstinduktionsspule nach Art der Fig. 2; K = Kohärer; C = Kondensator (Kleistsche Flasche); T = Telephon; G = Glimmlampe; D = Detektor.

[1]) Man stelle Spule IV nicht zu nahe an die Sendespulen heran, damit die empfindliche Glimmlampe nicht schon auf die geringen Fernwirkungen der schwach mitschwingenden Spulen I und II anspricht.

Empfängerschaltung auch etwas genauer vorbereiten, so kann man statt des Empfangs in der Fig. 5 noch folgende in den Fig. 7—9 gezeichnete Schaltungen der Empfangsspule IV erklären.

Im Kohärerstromkreis der Fig. 8 ist eine Batterie mit entsprechender kleiner Glühlampe angenommen.

Als geeignete Anknüpfungen und als Einführung in das Braunsche System sind sicher diese Versuche hervorragend geeignet. Auf eine noch weitergehende Ähnlichkeit der Versuche mit der Braunschen Telegraphie, z. B. auf die Anwendung besonderer Koppelspulen zur Verbindung von Primärsystem mit Spule, verzichte man. Die Strahlspulen sprechen nur gut an in der Seibtschen Schaltung, wo sie mit dem Primärkreis die volle Selbstinduktion gemeinsam haben.

Die Schüler kennen aus den bisherigen Versuchen mit den Strahlspulen nur eine einzige Koppelungsart, die galvanische. Daß es noch andere Möglichkeiten gibt, zwei verschiedene Schwingungskreise miteinander zu verbinden, kann durch folgende Versuche erwiesen werden.

8. Strahlspule III induktiv mit Primärkreis verbunden. Dem Grundbrett der Strahlspule III wird ein Rahmen mit 4 senkrechten Glasstäben aufgesetzt. Diese Glasstäbe tragen insgesamt 6 Windungen eines gut isolierten starken Drahtes. Diese wenigen Windungen wirken durch Induktion auf die Windungen der Strahlspule. Teslaschaltung. Die Schwingungen des Primärkreises werden auf die Resonanz mit der Strahlspule abgestimmt. Für die Einsicht, daß in jedem Teslatransformator der geschlossene Schwingungskreis auf die Teslasekundärspule abgestimmt werden muß, sind die theoretischen Grundlagen durch die anderen Strahlspulenversuche ausführlich genug gegeben.

In dieser neuen Schaltung ist die Sendespule induktiv mit dem Primärkreis zusammengekoppelt. Ihr wird jetzt in einem letzten Versuch die nach dem Braunschen Empfangsverfahren geschaltete Resonanzspule IV gegenübergestellt.

Mit diesen Versuchen ist ein breites und sicheres Fundament für die weitere Behandlung der Funkentelegraphie zu geben. Besonders sind folgende Tatsachen klar an ihnen zu entwickeln.

1. Auf der Sendeseite strahlt der offene Sendekreis (Strahlspule) dann in seinem Maximum, wenn vollständige Resonanz zwischen ihm und dem geschlossenen Primärkreis vorhanden ist.

2. Auf der Empfangsseite ist die Grundbedingung des richtigen Ansprechens der offenen Empfangsspule, daß sie wiederum in vollständiger Resonanz zur ankommenden Welle steht.

3. Abstimmungsmittel zur Herstellung der Resonanz sind nach der Formel $T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$ in dem Verändern der maßgebenden Faktoren Kapazität und Selbstinduktion gegeben[1]).

II. Impedanzversuche und Blitzableiter.

Die Impedanzversuche (z. B. mit dem bekannten Kupferbügel vgl. Rosenberg, Experimentierbuch, 3. Aufl. Bd. II. S. 287) sollen den prinzipiellen Unterschied in dem Verhalten des Gleichstroms und des Wechselstroms zeigen. Während bei Gleichstrom nur der Ohmsche Widerstand des Leiters in Frage kommt, spielt beim Wechselstrom daneben noch der induktive Widerstand, der durch die Form des Leiters bedingt ist, eine maßgebende Rolle. Der induktive Widerstand ist eine Funktion der Frequenz. Bei hochfrequenten Wechselströmen, wie sie durch Funkenentladungen erzeugt werden, wird der Selbstinduktionswiderstand so groß, daß neben ihm der Ohmsche Widerstand sogar vernachlässigt werden kann.

[1]) Literatur über Seibtsche Strahlspulen: Elektrotechnische Zeitschrift 1902 S. 411 ff. Zeitschrift für den physik. u. chem. Unterr. XV S. 352, XVI S. 60, XXI S. 8.

Impedanzversuche können in verschiedenen Formen ausgeführt werden. Für gewöhnlich werden sie im Anschluß an die Behandlung des Teslatransformators gezeigt. (Vgl. Rosenberg, Experimentierbuch, 3. Aufl.)

In Schreber-Springmanns „Experimentierender Physik“ (Barth, Leipzig) wird die Erscheinung der Impedanz an die Versuche über die oszillatorische Natur des elektrischen Funkens angeschlossen und dabei eine Versuchsanordnung gewählt, die eine geringe Abänderung des grundlegenden Impedanzversuches nach Lodge darstellt. Lodges Versuch sei hier zunächst zum Ausgangspunkt gewählt. Seine Anordnung zeigt die Schaltungsskizze Fig. 10.

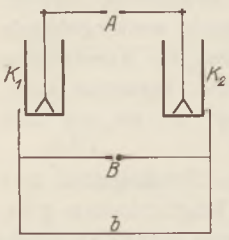


Fig. 10.

Die inneren Belegungen der Kleistschen Flaschen $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$ werden durch einen Ruhmkorffschen Funkeninduktor geladen. Jedesmal wenn bei A Funken übergehen, springen solche auch bei B über, trotzdem die Drahtleitung b aus gut leitendem Kupfer besteht. Grund: Der induktive Widerstand des Drahtes b ist zu groß, so daß der Strom die Funkenstrecke B trotz ihres hohen Ohmschen Widerstandes bevorzugt.

Zur Ausführung des Versuches: Bei A muß die Entfernung der Messingkugeln so gewählt werden, daß ein möglichst laut knallender Funke entsteht. Die Drahtleitung, welche die äußeren Flaschenbelegungen verbindet, wird von Holtzschen Fußklemmen getragen. [Sind solche nicht vorhanden, fertigen Schüler einige Stützen aus trockenem Holz an (isoliert ausreichend).]

Dieser Impedanzversuch kann sehr leicht erweitert werden, wenn man die Frage aufwirft: Wodurch kann die Impedanz der Leitung b für den hochfrequenten Wechselstrom verringert werden?

Hochfrequente Wechselströme zeigen die Eigentümlichkeit des Skin- oder Hauteffektes. Die einzelnen Stromfäden verteilen sich nicht gleichmäßig auf den Querschnitt des metallischen Leiters, sondern sie werden mit zunehmender Frequenz immer mehr an seine Oberfläche gedrängt, so daß bei sehr hohen Frequenzen schließlich nur noch eine dünne Oberflächenhaut des Drahtes den Strom leitet, während das Innere stromlos wird (vgl. darüber auch H. Hertz, Annalen der Physik Bd. 35 S. 395).

Für die Verminderung der Impedanz der Leitung b von C nach D kommt danach eine Querschnittsvergrößerung kaum in Frage, sondern vor allen Dingen eine Vergrößerung der Oberfläche des Leiters.

Die Schüler schneiden einige Zinkblechstreifen von verschiedenen Breiten und biegen sie in derselben Form wie die Leitung b von C nach D. — (Kleinere Abfallblechstücke sind beim Klempner billig zu haben. Gelegenheit für die Schüler, das Löten zu lernen.) Der Draht b wird dann durch die Blechstreifen ersetzt, zuerst wird der schmale genommen und darauf werden die andern Streifen in der Reihenfolge der zunehmenden Breite eingeschaltet. Bei jedem Streifen wird auf den Funkenübergang bei B geachtet. Der Versuch ergibt: Die Funken bei B werden seltener und schwächer, je breiter der Blechstreifen b ist. Bei hinreichender Breite verschwindet der Funke bei B völlig. Der scheinbare Widerstand, die Impedanz, wird also um so kleiner, je großflächiger die betreffende Leitung ist.

In analoger Weise kann auch der Versuch mit dem bekannten Kupferbügel und der Kohlefadenlampe (vgl. Rosenberg, Experimentierbuch 3. Aufl., Bd. II, Seite 287) erweitert werden. Das Aufleuchten der Lampe wird schwächer und hört bzw. ganz auf, wenn statt des Kupferbügels verschieden breite Blechstreifen gewählt werden. Der beim Kupferbügel schier unüberwindliche Widerstand ist in den breiten Blechstreifen so verringert worden, daß der Wechselstrom nicht mehr durch die Lampe, sondern durch den Blechbügel fließt. [Aufgabe fürs Handfertigkeitspraktikum: Die Schüler müssen die verschieden breiten Blechstreifen auf Grundbrettern mit Holzstützen montieren.]

Die Erweiterung dieses Impedanzversuches hat eine große praktische Bedeutung. Was für Richtlinien folgen nämlich daraus für die Konstruktion eines Blitzableiters?

Der Gewitterblitz ist in den allermeisten Fällen oszillatorischer Natur. Soll daher der hochfrequente Wechselstrom des Blitzes gefahrlos in die Erde abfließen, so muß in erster Linie darauf geachtet werden, daß die Ableitungen möglichst geringen induktiven Widerstand haben; denn nur dann ist die Sicherheit vorhanden, daß der Blitz in der ihm vorgeschriebenen Leitung bleibt, und nicht auf andere ihm bequemere Wege überspringt und somit durch den Funken feuergefährlich wird. Die Bedingung kleiner Selbstinduktion ergibt aber die Notwendigkeit großflächiger Ableitungen.

Die noch heute zum großen Teil üblichen Blitzableiter, in denen ein starker Draht von der Auffangstange auf dem Dachfirst in mitunter sogar erheblich gekrümmten Windungen zur Erde führt, sind daher nicht zweckentsprechend. Verfehlt ist es auch, eine Blitzschutzanlage mit Gleichstrom zu prüfen, weil damit deren Mängel in bezug auf den induktiven Widerstand gar nicht erkannt werden können[1]).

Die Impedanzversuche mit den verschieden breiten Blechstreifen geben die Grundlage für eine richtige Blitzableiterkonstruktion, für die besonders die Eigenarten der hochfrequenten Wechselströme Berücksichtigung finden müssen. Schon beim Bau des Hauses hat der Baumeister auf die Anlage des Blitzschutzes Rücksicht zu nehmen, damit sie sich möglichst unauffällig dem Ganzen einfügt. Notwendig sind breite Blechbekleidungen des Firstes und ebenso der Dachkanten der Giebel. Von allen Zinkblechbekleidungen der höchsten Teile des Hauses führen breitflächige Verbindungsstücke unter tunlichster Vermeidung starker Krümmungen zu den Regenrinnen und Regenabfallrohren. Von deren unteren Enden gehen dann ebenfalls großflächige Leitungen in die Erde, die am besten an die unterirdischen Gas- oder Wasserleitungen angeschlossen werden.

Auffangstangen auf den höchsten Teilen der Gebäude sind nicht nötig, denn die Spitzenwirkung der Stange leistet im Vergleich zu den großen Elektrizitätsmengen der Wolke so wenig, daß dadurch nie eine merkliche Schwächung der Gewitterelektrizität erreicht werden kann. Slaby gebraucht hier[2]) das Vergleichsbild, „daß ein unter übermäßigem Druck stehender Dampfkessel auch dann vor der Explosion nicht bewahrt bleibt, wenn vorher aus einem feinen Riß etwas Spritzwasser austritt".

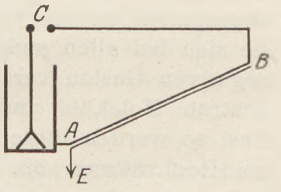


Fig. 11.

Berücksichtigt werden muß bei jeder Blitzableiteranlage auch noch das Vorhandensein größerer Metallteile im Innern des Hauses. Dazu zunächst folgender Versuch, dessen Schaltungsskizze durch Fig. 11 wiedergegeben ist.

Der Entladungsstrom der Kleistschen Flasche fließt durch einen starken Kupferdraht AB. Parallel zu ihm wird in geringer Entfernung isoliert ein feiner Draht geführt, der an der einen Seite geerdet ist. Gehen bei C die Funken über, so springen gleichzeitig auch kleinere Funken von dem starken Kupferdraht auf den andern über. Diese Seitenfunken hören sofort auf, wenn beide Drähte leitend miteinander verbunden werden.

Wird die aus diesem Versuch gewonnene Erkenntnis auf den Blitzableiter angewandt, so folgt, daß ähnliche Seitenentladungen auch bei ihm auftreten können, wenn in seiner Nähe z. B. im Innern des Hauses Gas- oder Wasserleitungen verlegt sind. Um jede Feuersgefahr bei diesen Funken zu vermeiden, müssen genau dem obigen Laboratoriumsversuch entsprechend alle größeren dem Blitzableiter benachbarten Metallmassen mit ihm leitend verbunden werden.

---

[1]) Über neuere Blitzableiter vgl.: Elektrotechnische Zeitschrift 1901 S. 370 u. 390.

[2]) Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean 6. Aufl. S. 18. Verlag von Simion-Berlin W 57

In idealster Weise gegen Blitz geschützt sind die Gasometer der Gasanstalten. Hier ist die großflächigste Ableitung in die Erde vorhanden.

Über den zufällig richtigen aber unbeabsichtigten Blitzschutz des Salomonischen Tempels berichtet Gockel in seiner Schrift „Das Gewitter“: „Oft können Gebäude durch zufällige Umstände mit Blitzableitern versehen sein. Als ein solches nennt Lichtenberg den Salomonischen Tempel. Wäre dieser, der doch sehr exponiert lag, während seines tausendjährigen Bestehens einmal vom Blitze beschädigt worden, so hätten wir darüber sichere Nachricht. Als Erklärung für den Schutz gegen Blitzschläge führt Lichtenberg folgenden Umstand an. Das mit stark vergoldetem Cedernholz getäfelte flache Dach des Tempels war von einem Ende zum andern mit langen zugespitzten und vergoldeten Stangen von Eisen besetzt. Die Außenseiten des Gebäudes waren gleichfalls in ihrer ganzen Ausdehnung mit stark vergoldetem Holz bekleidet. Endlich waren unter dem Vorhof des Tempels Zisternen vorhanden, in welche das Wasser von den Dächern sich durch metallene Röhren ergoß. Hier ist also ein Überfluß von Ableitungen für den Blitz vorhanden gewesen.“

Neue Experimente zur Thermionik.

Von **Hanns Dollinger** in Ahlen (Westf.).

Wir kennen heute eine ganze Reihe von Methoden zur Ionisierung von Gasen: da ist zunächst die Stoßionisierung, die die wunderbaren Leuchterscheinungen in den Geißler-Röhren hervorruft, dann die Ionisierung durch Radium- und Röntgenstrahlen, ferner die Ionisierung durch chemische Prozesse, wie wir sie besonders bei in einer Flamme glühenden Salzdämpfen beobachten, des weiteren die Ionisierung durch hohe Temperaturen und endlich die durch Bestrahlung mit Licht, photochemischer und Hallwachseffekt.

In allen diesen Fällen hat man sich den Vorgang der Ionisierung nach der modernen Auffassung so vorzustellen, daß zunächst aus den Gasmolekülen Elektronen abgespalten werden. Nur bei den Edelgasen bleiben diese frei bestehen, während sie sich bei allen anderen Gasen sofort mit einer Anzahl neutraler Moleküle zu dem negativen Gasion vereinigen. An den positiven Rest hängen sich bei allen Gasen neutrale Moleküle und bilden so das positive Gasion. Verdünnt man das ionisierte Gas, so werden diese komplizierten Gebilde abgebaut, und zwar die negativen Ionen bei Hochvakuum bis zu den Elektronen. Erzeugt man in dem ionisierten Gas ein elektrisches Spannungsfeld, so beginnen die Gasionen ebenso zu wandern, wie die Ionen im Elektrolyten. Die Wanderungsgeschwindigkeit ist um so größer, je kleiner die Masse des Ions ist. Am größten also bei den Elektronen (z. B. Kathodenstrahlen), kleiner bei den Ionen im Vakuum (z. B. Kanalstrahlen), noch kleiner bei den komplizierten Ionen eines Gases unter Atmosphärendruck.

Im folgenden sollen nun einige neue Experimente zur „Thermionik“ beschrieben werden. Unter Thermionik versteht man die Ionisierung von Gasen durch hohe Temperaturen. Solche Experimente sind in dieser Zeitschrift bereits beschrieben, und zwar in Band 20, S. 325 (von W. Biegon von Czudnochowski) und Band 22, S. 90 (von G. Mahler in Ulm). Der letztere Aufsatz enthält nicht weniger als 25 sehr instruktive Versuche über Ionisierung von Gasen. Darunter befinden sich zwei über Thermionen (Versuch 1 und 18). Ich verwende bei meinen Versuchen zum Nachweis der Ionen ein Gitter. Meine Versuche können deshalb auch zur Demonstration des Vorganges an der Verstärkerröhre dienen.

Versuchsreihe 1. Zwischen zwei dicken Kupferdrähten, die in Holtzsche Fußklemmen eingespannt sind (Fig. 1), ist ein Stück Platin- oder auch Eisendraht befestigt. Dieser ist so gebogen, daß er die Kugel eines Goldblattelektroskopes in

einem Abstand von ca. 5 mm umgibt. Man reguliert nun den Gleichstrom einer Batterie oder Maschine so, daß der Draht eben dunkelrot glüht. Nun wird das negativ geladene Elektroskop sofort entladen, das positiv geladene nicht.

Nun reguliert man den Strom so, daß der Draht gelb bis weiß glüht. Das geladene Elektroskop wird erst eingeschoben, wenn der Draht bereits in Gelbglut ist. Nun wird es sowohl bei positiver wie bei negativer Ladung entladen, und zwar bei positiver Ladung merklich rascher.

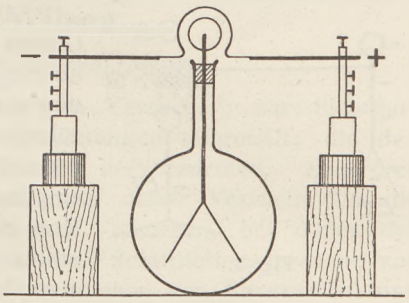


Fig. 1.

Der nur eben rotglühende Draht erzeugt nur positive Ionen. Da zwischen ihm und dem positiv geladenen Elektroskop keine Spannungsdifferenz vorhanden ist, wandern die positiven Ionen nicht, sondern bleiben als „Ionenwolke“ in unmittelbarer Nähe des Drahtes. Bei negativ geladenem Elektroskop dagegen ist ein Spannungsfeld vorhanden. Die positiven Ionen wandern zum Elektroskop und neutralisieren seine negative Ladung. Der gelbglühende Draht erzeugt sowohl positive als negative Ionen, von letzteren offenbar mehr. Je nach der Ladung des Elektroskopes wandert die eine oder die andere Ionenart.

Nach diesen einleitenden Versuchen können wir zu anderen übergehen, bei denen Ionen durch ein Gitter sozusagen „abgefangen“ werden.

Versuchsreihe 2. Der Glühdraht ist bei allen folgenden Versuchen gerade oder im Zickzack gebogen. Zwischen ihm und der Elektroskopkugel befindet sich ein Gitter — bei mir aus ganz dünnem Messingdraht mit 80 Maschen auf den Quadratzentimeter —, das an einem zweiten, sehr empfindlichen Elektroskop mit Hilfe eines steifen Kupferdrahtes befestigt ist (Fig. 2). Wir laden das Elektroskop I stark positiv. Das Elektroskop II zeigt Divergenz der Blättchen mit positiver Influenzelektrizität. Der Glühdraht wird nicht mehr geheizt als eben zur Rotglut, d. h. im verdunkelten Zimmer muß man das Glühen eben sehen können. Auch ist darauf zu achten, daß der Glühdraht nicht einzelne dünnere Stellen hat, die stärker rot oder gar gelb glühen. Bei Drähten, die längere Zeit verwendet werden, sind immer solche Stellen vorhanden. Schaltet man den Glühdraht aus, so zeigt sich an dem System der beiden Elektroskope keinerlei Veränderung. Aus dem Drahte brechen in diesem Falle ja nur positive Ionen hervor, für diese ist aber kein Potentialgefälle in der Richtung nach I vorhanden.

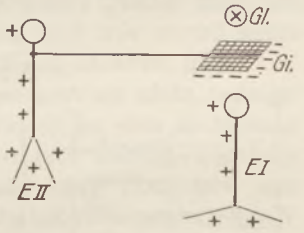


Fig. 2.

Lädt man dagegen I negativ, so wandern die positiven Ionen durch das Gitter zum Elektroskop I. Die Blättchen von II fallen vollständig zusammen, die von I vermindern die Divergenz. Entfernt man nach Ausschalten des Glühdrahtes I von II, so zeigt II Blättchendivergenz mit +-Elektrizität.

Der ganze Vorgang ist leicht zu erklären: Ein Teil der vom Glühdraht zum Elektroskop I fliegenden +-Ionen wird vom Gitter abgefangen und lädt dieses positiv auf. Da diese positive Ladung infolge Influenz von seiten des Elektroskopes I am Gitter festgehalten wird, fallen die Blättchen von II zusammen. Ein anderer Teil der +-Ionen fliegt durch das Gitter nach I und entlädt es so weit, bis das Potential des Systems Gitter plus Elektroskop I in bezug auf die nächste Umgebung des Drahtes zu Null geworden ist, dann hört die Ionenwanderung natürlich auf. Den letzteren Fall kann man übrigens von vornherein dadurch erreichen, daß man das Elektroskop II erdet (Schirmwirkung des Gitters).

Wiederholt man die Versuche mit weißglühendem Draht, so zeigt II bei positiver Ladung von I (Fig. 2) nach Trennung der beiden Elektroskope deutlich

negative Ladung. Der Glühdraht erzeugt jetzt ja —-Ionen. Bei negativer Ladung von I (Abb. 3) ist das Elektroskop II positiv geladen, allerdings schwach, denn der weißglühende Draht emittiert auch +-Ionen, aber weniger als —-Ionen.

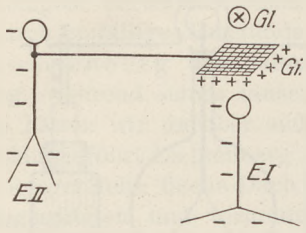


Fig. 3.

Diese Reihe von Versuchen läßt die Wirkung des Gitters deutlich erkennen. Man kann nun die Versuchsanordnung noch so treffen, daß sie mehr der Anordnung der wirksamen Teile in der Elektronenröhre (Verstärkerröhre) entspricht, wodurch gleichzeitig die Wirkung außerordentlich verstärkt wird, so daß man auch bei weniger empfindlichen Instrumenten große Blättchendivergenz erhält. Man ersetzt das Elektroskop I durch eine isoliert aufgestellte Kondensatorplatte und verbindet sie mit dem positiven bzw. negativen Pol einer kleinen Influenzmaschine oder Elektrisiermaschine. Diese Kondensatorplatte entspricht der Anode der Elektronenröhre, wir haben also Glühkathode, Anode und Gitter. Man kann mit dieser Anordnung alle Versuche der Versuchsreihe 2 sehr wirkungsvoll und überzeugend ausführen. Die Anodenplatte muß bei diesen Versuchen 3—4 cm unterhalb des Gitters sein, damit das Gitter nicht infolge der elektrostatischen Anziehung in Schwingung gerät und damit keine Funken überspringen. Sie kann auch noch beträchtlich weiter vom Gitter entfernt sein. Man dreht während des Versuches die Influenzmaschine ganz langsam und saugt so sozusagen Ionen durch das Gitter hindurch.

Nach meiner Ansicht müßte es nun möglich sein, den Gitterstrom mit Hilfe eines Galvanoskopes zu messen. Man hätte in diesem Falle genau wie bei der Verstärkerröhre bei positiver Ladung der Anode das Gitter über das Galvanoskop mit dem negativen Pol der Heizbatterie zu verbinden, bei negativer Anodenladung mit dem positiven Pol der Heizbatterie. Selbstverständlich kann es sich nur um einen Strom von sehr geringer Intensität handeln.

Man hätte so den Vorgang in der Verstärkerröhre in freier Luft nachgeahmt. Es ist aber nicht zu vergessen, daß letzterer Vorgang doch wesentlich anders ist. Erstens handelt es sich im Hochvakuum nicht um die schwerfälligen Ionen, sondern um die leichtbeweglichen Elektronen; man kommt deshalb mit viel geringeren Spannungen aus (100—200 Volt) als bei Atmosphärendruck und erhält trotzdem viel höhere Wanderungsgeschwindigkeit; zweitens brechen im Vakuum auch unvergleichlich viel mehr Elektronen aus der Glühkathode hervor, besonders wenn ihre Oberfläche mit einem Oxyd überzogen oder sonst präpariert ist. Alle diese Umstände bewirken, daß die Stromstärke des Gitterstromes im Vakuum viel größer ist als in freier Luft.

Zum Schlusse darf ich nicht unerwähnt lassen, daß die geschilderten Versuche nur bei sorgfältigster Ausführung gelingen. Vor allem ist darauf zu achten, daß die Elektroskope vor Beginn eines jeden Versuches völlig entladen werden, daß die Gehäuse nicht geladen sind und daß keine influenzierenden Ladungen in der Nähe der Versuchsanordnung vorhanden sind. Endlich ist die Ionenemission bei verschiedenen Glühdrähten sehr verschieden. Ich habe gefunden, daß z. B. ein dunkelrot glühender Stahldraht viel mehr + Ionen erzeugt, als ein gewöhnlicher Eisendraht bei derselben Temperatur. Leider stehen mir nicht die Mittel zur Verfügung, um die Versuche mit verschiedenen Glühdrähten quantitativ durchzuführen.

Über eine Vorrichtung zur Sichtbarmachung der Bahnen von Alphateilchen nach Wilson.

Von **Th. Wulf** in Valkenburg (Holland).

Schon bald nach Bekanntwerden der Wilsonschen Versuche[1]) zur Sichtbarmachung der Bahnen von Alphateilchen wurden Anordnungen mitgeteilt, die den Zweck hatten, die Erscheinungen mit einfachen Mitteln hervorzurufen. Man darf darin zweifellos die Anerkennung der großen Bedeutung dieser Versuche für die Atomtheorie erblicken. Von den drei hauptsächlichen Versuchen, bei denen der atomistische Bau der Materie als solcher sich äußert, dem Scintillationsversuche von ELSTER und GEITEL, der elektrischen Zählung der Alphateilchen von RUTHERFORD und GEIGER und dem WILSONschen Kondensationsversuch bietet der letztere den tiefsten Einblick, da er die ganzen Bahnen der fliegenden Alphateilchen zur Darstelluug bringt. Die erste vereinfachte Anordnung zur Wiederholung der Wilsonschen Versuche hat H. MACHE[2]) schon 1914 angegeben. MACHES Einrichtung erlaubt jedoch nicht, einen vorbestimmten Grad der Expansion mit Sicherheit wieder hervorzurufen. Bei der neuerdings von JANSS (*ds. Zeitschr. 35. 74*) zu demselben Zwecke beschriebenen Vorrichtung ist, wie der Verfasser selber andeutet, die Vereinfachung etwas reichlich weit getrieben. Meine im folgenden beschriebene Methode steht wohl auf einer ähnlichen Stufe der Vereinfachung, wie die jüngst von LAKEMAN und SISSINGH[3]) angegebene. Nach der Beschreibung zu urteilen, muß aber meine Vorrichtung bedeutend wohlfeiler sein. Ich stellte mir die Aufgabe, die Darstellung der Atombahnen nach WILSON zu einem regelrechten Schulversuch zu gestalten, und nachdem ich mehr als 4 Jahre hindurch die Anordnung immer wieder verbessert habe, glaube ich dieses Ziel nunmehr als erreicht betrachten zu dürfen.

Als Anforderungen an einen Schulapparat sind zu betrachten Übersichtlichkeit der Anordnung und Sicherheit des Erfolges, daneben mäßige Zeit zur Vorbereitung und zur Ausführung der Versuche und endlich Haltbarkeit aller Teile und erschwinglicher Preis.

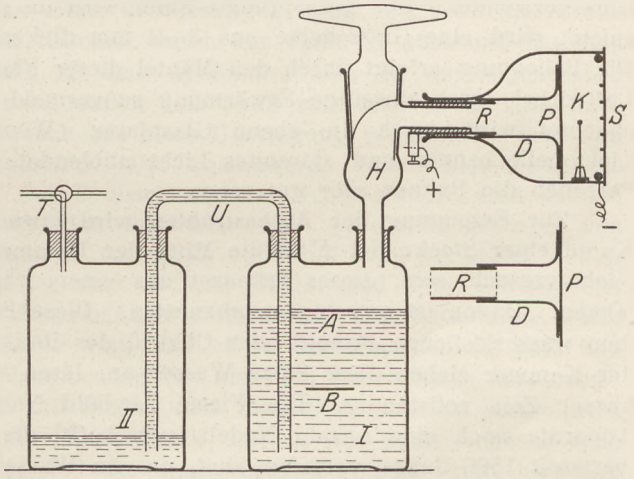


Fig. 1.

Der Kondensationsraum *K* (Fig. 1) ist durch einen weiten Hahn *H* mit der Flasche *I* und diese durch den Bügel *U* mit Flasche *II* verbunden. Flasche *II* hat außerdem noch einen gewöhnlichen Dreischenkelhahn *T*, von dem der zweite Schenkel frei in der Luft endigt, während der dritte zu irgend einer Luftpumpe führt, am bequemsten ist eine Wasserstrahlpumpe. (Man kann die Versuche, ohne irgend etwas an der Apparatur zu ändern, statt mit verdünnter auch mit verdichteter Luft anstellen, alsdann tut eine Fahrradpumpe gute Dienste.)

[1]) Deutsch im Jahrbuch für Radioaktivität 10. 37. 1913.
[2]) Physik. Zeitschr. 15. 288. 1914.
[3]) Physik. Zeitschr. 24. 235. 1923.

Die Flasche II wird bei verschlossenem Hahn H ausgepumpt bis das Wasser durch den Bügel U so weit von Flasche I nach II übergetreten ist, daß der Spiegel von Marke A nach B sinkt. Dann wird Hahn T geschlossen und darauf der Hahn H mit einer schnellen Handbewegung geöffnet. Die Luft in der Kammer K stürzt durch den Hahn H in den luftverdünnten Raum der Flasche I, wobei der Wasserdampf in der sich abkühlenden Luft Nebel bildet. Ist V_1 das Volum oberhalb der Marke A und der Kondensationskammer, V_2 das Volum zwischen den Marken A und B, so beträgt die Ausdehnung

$$\frac{V_1 + V_2}{V_1} = 1 + \frac{V_2}{V_1}.$$

Durch die Marken A und B kann also eine ausprobierte günstigste Expansion (1,3—1,4) jederzeit mit Sicherheit wieder hervorgebracht werden.

Anfangs bilden die im ganzen Raum verteilten Staubteilchen die Kerne der Wassertröpfchen, nach einigen Versuchen treten die Bahnen der Alphateilchen deutlich hervor, besonders schön sind sie zu sehen, wenn der Apparat schon einige Tage verschlossen gestanden hat, so daß auch die feineren Staubteilchen sich zu Boden gesenkt haben. Wird nach erfolgter Expansion die Flasche II mit der atmosphärischen Luft in Verbindung gesetzt, so steigt das Wasser in Flasche I wieder bis zur Marke A zurück und der Versuch kann von neuem beginnen. Dabei wird aber nur immer dieselbe Luftmenge durch den Hahn H hin und hergetrieben und wird dabei von Staubteilchen immer mehr gereinigt. Auch bei längerem Stehen des mit Wasser gefüllten Apparates bleibt die Luft, wenn alle Stopfen und dergleichen gut schließen, dauernd staubfrei, so daß bei späteren Versuchen sofort die Bahnen der Alphateilchen erscheinen.

Nun zu einigen Einzelheiten. Wenn man den Apparat selbst herstellen will, wird als Kondensationskammer zweckmäßig eine abgesprengte Literflasche aus klarem Glas verwendet. Der abgesprengte Rand wird im groben eben geschliffen und ganz zuletzt wird eine Glasscheibe aus 3—4 mm dickem Glas mittels Pizein aufgekittet. Die Belichtung erfolgt durch den Mantel dieser Flasche von der Seite, oder — um Luftwirbel durch einseitige Erwärmung zu vermeiden — noch besser von oben. Beobachtet wird durch die ebene Glasplatte. Wenn man eine hinreichend starke Lichtquelle benutzt und störendes Licht abblendet, so kann eine größere Zahl von Personen die Bahnen sehr gut sehen.

Zur Erzeugung der Alphastrahlen wird etwas radioaktive Substanz auf dem Knopf einer Stecknadel K in die Mitte der Kammer gebracht. Mancher wird vielleicht versucht sein, dieses Präparat aus einem vorhandenen Spinthariskop zu entlehnen. Davon ist entschieden abzuraten. Diese Präparate bestehen durchweg aus dem wasserlöslichen Bromid oder Chlorid des Radiums. In der feuchten Atmosphäre der Kammer ziehen diese Salze Wasser an, lösen sich darin und verlieren sich in kurzer Zeit vollständig. Die Firma Leybold Nachf. in Köln hat sich für diese Apparate noch eine Anzahl Nadeln verschafft, die mit echtem Radiumsulfat (Halbwertszeit 1800 Jahre) versehen sind, das im Wasser vollständig unlöslich ist.

Um die Ionen der vor der Expansion ausgestrahlten Alphateilchen fortzuschaffen, bedient man sich eines elektrischen Feldes, Gleichstromspannung von 110 Volt ist gut brauchbar, Lampe als Sicherheitswiderstand, Stromstärke praktisch Null. Daher kann auch eine Wasserbatterie oder dergleichen dienen. Sehr gute Erfolge erzielte ich auch mit einer Leidener Flasche als Spannungsquelle. Die Flasche wurde durch einige Umdrehungen eines Influenzmaschinchens auf einige Tausend Volt geladen. Sie verlor ihre Ladung anfangs schnell, aber später sehr langsam (um so langsamer, je größer die Flasche). Die Expansion bei 500—100 Volt zeigte die Bahnen sehr gut. Ein Braunsches Elektrometer oder ein anderes Instrument, das die Spannung, wenn auch nur der Größenordnung nach anzeigt, wird zweckmäßig der Flasche parallel ge-

schaltet. Die elektrische Kraft ließ Wilson (und alle Nachfolger) dadurch auf das Innere der Kammer wirken, daß sie die Glasplatte mit einer feinen Gelatineschicht bezogen. Für einen dauernd betriebsfertigen Apparat schien das nicht empfehlenswert, weil sich leicht Keime einfinden, und die Platte dann durch eine üppig wuchernde Pilzkultur undurchsichtig wird. Wir haben denselben Zweck erreicht, indem wir einige feine berußte Drähte nach Art eines sehr weitmaschigen Gitters über die Glasplatte zogen. Drahtdicke ca. 0,1 mm, Maschenweite 10 mm. Der Draht war über einen stärkeren Drahtring gespannt, der gerade in die Flasche paßte und beim Aufkitten der Glasplatte mit angekittet wurde. In den sonst eben geschliffenen Flaschenrand ist unten eine kleine Vertiefung eingefeilt und in diese ein Streifchen Messingblech eingekittet, das die Zuführung der Spannung zu dem Gitter vermittelt. Der Einblick ins Innere der Kammer wird durch die dünnen Drähte bei den weiten Maschen nicht merklich gestört.

Zur Erzielung einer möglichst wirbelfreien Expansion hatte Wilson eine sehr wirksame, aber für unsere Zwecke zu kostspielige Einrichtung getroffen. Nach dem Vorgang von H. Mache hat man später die sich ausdehnende Luft durch eine Anzahl feiner Metallgitter geführt und so Wirbelbildung verhütet. Die Versuche mit solchen Gittern führten mich zu der Vermutung, daß an den feinen Drähten viel Wasser zurückgehalten wird und die Luft der Kammer bei kurz aufeinander folgenden Versuchen nicht mehr mit Wasserdampf gesättigt ist. Tatsache war nämlich, daß bei schnell hintereinander folgenden Expansionen die Bahnen immer magerer ausfielen. Dieser Mißstand zeigte sich nicht bei folgender Anordnung, die noch dazu bedeutend einfacher ist.

Die Bewegung der atmosphärischen Luft führt nur bei zyklonaler Druckverteilung zu starken Wirbelbildungen, antizyklonale Druckverteilung ist Wirbelbildungen nicht günstig. Eine Art antizyklonaler Druckverteilung im Augenblick der Entspannung wurde dadurch erreicht, daß in die Kondensationskammer eine Metallplatte P eingebaut wurde, die ringsum gegen das Glas einen kreisförmigen Spalt von 2—3 mm Breite läßt. Wenn dann die Luft aus der Kammer durch den Hahn H abströmt, hat man zwar zwischen Platte P und Hahn H eine zyklonale, aber in der eigentlichen Kammer K, wo die Luft radial nach außen dem Spalt zuströmen muß, eine antizyklonale Druckverteilung. Der Versuch hat diese Überlegung vollkommen bestätigt. Die Expansion erfolgt nahezu wirbelfrei. Die tiefschwarze Platte bietet zugleich einen sehr günstigen Hintergrund zur Beobachtung der Nebelbahnen. Und endlich bildet sie auch den anderen Pol für das elektrische Feld. Sie wird getragen von 3—4 rechtwinklig gebogenen Drähten D von zirka 1,5 mm Dicke, die selbst wieder an ein Stück Messingrohr R angelötet sind. Platte, Drähte und Rohr werden erst für sich so zusammengelötet, daß die verlängerte Rohrachse die Plattenmitte senkrecht trifft (Fig. 1b). Das Rohr ist so weit, daß es in den Flaschenhals paßt und so lang, daß es nach dem Einschieben noch etwas aus dem Flaschenhals hervorragt. Es wird dann in dem Flaschenhals mit Pizein oder Siegellack luftdicht festgekittet. Während der Kitt erkaltet, muß die Platte durch drei in den Spalt eingeschobene kleine Keile so festgehalten werden, daß der Spalt ringsum gleiche Breite hat. An das nach außen hervorragende Rohrende kommt dann der Draht zur Zuführung der elektrischen Spannung zur Platte. — Dann wird ein Korkstückchen für die Nadel mit dem Radiumpräparat so in das Glas aufgekittet, daß der Nadelknopf in der Mitte der Kammer steht. Zuletzt wird das weitmaschige Gitter an den Flaschenrand gebracht und zugleich mit der vorderen Glasscheibe festgekittet.

Die Expansion wurde bei Wilson durch ein Ventil eingeleitet, das allerdings den Vorteil hat, fast momentan den ganzen Querschnitt für die abströmende Luft freizugeben. Trotzdem schien für einen Schulapparat ein Hahn besser, da er sicherer schließt und ohne nennenswerte Arbeit auf die Dauer gebrauchsfertig bleibt. Natürlich konnte nur ein Hahn mit sehr weiter Öffnung dafür in Betracht kommen. Der

von mir verwendete hat eine Öffnung von mehr als 1 cm Durchmesser, die übrige Einrichtung ist wohl aus Fig. 1a zu ersehen. Die Flasche *I* ist zweckmäßig 1,5 bis 2 Liter groß, Flasche *II* kann etwas kleiner sein. Das verbindende Rohr *U* sollte wenigstens 1 cm lichte Weite haben, dann nimmt die Wasserbewegung nur einige Sekunden in Anspruch und die Versuche können sehr schnell aufeinander folgen.

Wenn der Apparat das erste Mal in Gebrauch genommen werden soll, ist er vor allem mit Wasser zu füllen. Der Stopfen des Hahns *H* wird ganz herausgenommen und an seiner Stelle ein Trichter eingeführt, durch welchen die Flasche *I* bis etwa 2 cm über die Marke *A* mit Wasser gefüllt wird. Dann saugt man etwas an dem Hahn *T* der Flasche *II*, das Wasser füllt das *U*-Rohr und fließt dann von selbst durch Heberwirkung weiter von Flasche *I* nach *II*. Wenn der Spiegel in Flasche *I* bis *A* gesunken ist, führt man den Stopfen in *H* wieder ein und sperrt dadurch die Luftmenge in der Flasche *I* und der Kammer *K* ab. Dann können die Versuche sofort beginnen, wie oben beschrieben wurde. Nach dem Gebrauch kann der Apparat mit dem Wasser bei geschlossenen Hähnen in die Sammlung getragen werden und bleibt dort beliebig lange stets gebrauchsfertig. An dem fertigen Apparat ist die Kammer *K* um 180° gedreht, so daß sie über die Flasche *II* zu liegen kommt und mittels einer an den Hälsen der Flaschen befestigten Stütze hochgehalten wird.

Die Herstellung des Apparates hat die Firma Leybolds Nachf. in Köln übernommen. Da vielleicht manche Schulen durch Verwendung schon vorhandener Flaschen an Anschaffungskosten sparen möchten, so hat die Firma sich auch bereit erklärt, die fertige Kondensationskammer mit Radiumnadel und weitem Hahn allein abzugeben.

Kleine Mitteilungen.

Zur Ausbreitung von Ölhäuten auf Wasser.

Von Hofrat Dr. **Karl Rosenberg**, tit. ord. Universitätsprofessor in Graz.

Unter den experimentellen Methoden, durch die es möglich war, der Frage nach den Grenzen der Teilbarkeit näher zu treten, verdient jene über die Ausbreitung von Ölhäuten auf Wasser[1]) besondere Beachtung. Die betreffenden Versuche sind höchst einfach auszuführen und dabei so leicht verständlich, daß sie auch im Unterrichte an unseren höheren Schulen mindestens erwähnt werden sollten.

Die Ausführung der Versuche erfolgt im Klassenunterrichte wohl am besten unter Zuhilfenahme des Projektionsapparates, und zwar jener Form, die zumeist als „Horizontalprojektionsapparat“[2]) bezeichnet wird. Man benötigt außerdem eine Horizontalwanne[3]), die ja auch für verschiedene andere Versuche gute Dienste leistet.

In diese Wanne gießt man gewöhnliches Wasserleitungswasser in einer Schicht von einigen Millimetern Höhe. Peinlichste Reinlichkeit ist für das Gelingen der Versuche unbedingt nötig; ganz besonders darf das Wasser nicht mit Fettstoffen (also auch nicht mit fettigen Fingern) in Berührung gekommen sein. Es ist daher folgender Kunstgriff zu empfehlen, der sich als ganz zuverlässig bewährt hat. Man öffnet den Leitungshahn und füllt einen reinen Glaskolben, nachdem der Wasserstrahl zuvor einige Sekunden gelaufen ist, also etwa im Hahnrohr befindliche Unreinigkeiten fortgespült wurden; nachdem der Kolben sich gefüllt hat, läßt man das Wasser sogar noch einige Zeit über den Rand des Kolbenhalses überlaufen, damit auch dieser

[1]) Vergl. u. a. G. Mie, Moleküle, Atome, Weltäther (Leipzig, Teubner; Aus Natur und Geisteswelt, 58. Bdchn., S. 9 ff.).

[2]) Vergl. mein Experimentierbuch, I. Band, S. 32, Abb. 9.

[3]) Ebendort, II. Band, Abschn. 35, Abb. 103.

zuverlässig rein ist. Vom Inhalt dieses Kolbens wird nun erst die Projektionswanne — die zuvor selbstverständlich auch gut zu reinigen ist — mit Wasser gefüllt. Man bestreut darauf die Wasserschicht mit einem leichten, zarten Pulver, z. B. mit Bärlappsamen oder mit ganz feinem Korkfeilicht, taucht dann eine Nähnadel in irgend ein Öl, streift sie am Rande des betreffenden Ölfläschchens sorgsam ab, damit nur ganz wenig Öl an der Nadelspitze haftet, und sticht dann mit der Spitze in die Mitte der bestäubten Wasserschicht hinein, worauf man die Nadel sofort zurückzieht. Die Staubteilchen fahren von dieser Stelle mit Windeseile nach allen Seiten davon, so daß (wenn man die Ölmenge hinlänglich klein genommen hat) in der bestäubten Wasserfläche ein blankes Fenster von kreisrunder Gestalt entsteht. Damit man die Nadel bequem handhaben kann, erhitzt man sie etwa 1 cm weit von der Spitze, biegt sie dort stumpfwinklig ab und befestigt schließlich das Ende, an dem sich das Öhr befindet, in einem als Handgriff dienenden Holzstäbchen. Für den Versuch kann jede Ölsorte verwendet werden; am besten geeignet sind die nicht allzu dünnflüssigen fetten Öle, wie Olivenöl, Rüböl, Öl aus Kürbis- oder Sonnenblumenkörnern usw.; auch mit Terpentinöl oder mit Petroleum gelingt der Versuch.

An diesen ersten Versuch, der nur die Tatsache der raschen Ausbreitung des Öls zu zeigen hat, schließt sich nun ein zweiter an, der das Verhalten der auf dem Wasser schwimmenden Ölhaut genauer verfolgen läßt. Die Wanne wird sorgfältigst unter dem Wasserleitungshahn ausgespült, mit einem reinen faserfreien Leinentuche abgetrocknet und wie früher mit Wasser gefüllt. (Bequemer ist es natürlich, wenn man eine zweite Wanne zur Verfügung hat.) Sodann wird das Aufbringen von Öl auf die jetzt blank belassene Wasserfläche ebenso, wie vorhin beschrieben wurde, wiederholt. Man kann, in der Nähe des Projektionsschirmes stehend, im ersten Augenblick die rasche Ausbreitung sehr blaßfarbiger Ringe beobachten und sieht auch bei scharfer Einstellung des Projektionsobjektives die Grenze zwischen der Ölhaut und dem Wasser als eine sehr feine schwarze Linie. Nach wenigen Augenblicken bilden sich längs dieser Grenzlinie (und später auch innerhalb davon) eine Unzahl kleiner Löcher in der Ölhaut aus, so daß an der Grenzlinie ein förmlicher Lochsaum entsteht. Die Löcher werden immer größer, die Ölhaut zerreißt endlich und bildet nun eine Unzahl kleiner Fetzen. Wesentlich ist es auch hier für ein gutes Gelingen, daß die aufgebrachte Ölmenge recht klein ist, damit die Ölhaut nicht sofort bis an den Rand des Gefäßes vordringt. Man kann nun die Schüler ganz leicht daraufführen, auf welchem Wege man die Dicke der Ölhaut bestimmen kann. Bringt man z. B. $^1/_4$ mm³ Öl auf das Wasser — was sich durch Wägung der Nadel vor und nach dem Benetzen mit Öl feststellen ließe — und breitet sich die Ölhaut auf eine Kreisfläche von 6 cm Durchmesser aus, so zeigt eine einfache Rechnung, daß ihre Dicke beiläufig 0,0001 mm = 0,1 μ ist; es ist dies ungefähr die gleiche Dicke, auf die man Metalle (z. B. Gold) noch aushämmern kann.

Wenn der Versuch so weit geführt wurde, kann man mit der Nadel wie vorhin ein zweites Öltröpfchen aufbringen. Auch dieses breitet sich zu einer immer größer werdenden Kreisfläche aus und zerreißt, wie vorhin beschrieben wurde. Doch dauert nunmehr der Vorgang weit längere Zeit als vorhin. Weiter wird sich der Versuch im Unterrichte wohl nicht gut verfolgen lassen (etwa bis zum Wiedereintritt der auf der Ölhaut zunächst aussetzenden Kampferbewegung usw.)[1]).

Es möge noch eine kleine Abänderung des für den Versuch verwendeten Projektionsverfahrens beschrieben werden. Man kann die Erscheinung nämlich auch in folgender Weise (episkopisch) abbilden. Man stellt den Kondensor auf paralleles Licht ein und bringt einen unter etwa 45° geneigten länglichen Planspiegel so an, daß er

[1]) Man vergl. Mie a. a. O., S. 11. Nach einer Mitteilung von Fr. C. G. Müller genügt es, eine zwischen den Fingern durchgezogene Nähnadel in das Wasser zu tauchen, um eine dort eingeleitete Kampferbewegung sofort zum Stillstand zu bringen.

das Licht schräg nach unten auf die Wasserfläche der Projektionswanne wirft[1]). Das vom Wasserspiegel abprallende Strahlenbündel wird nunmehr von einer Sammellinse von größerer Öffnung und Brennweite aufgefangen, die das Bild der Wasserfläche auf einem vertikalen Schirme (am einfachsten auf einer weißen Fläche der Zimmerwand, sonst auf einem entsprechend hoch aufgehängten Schirme) abbildet. Unter die Projektionswanne legt man dabei ein mattschwarzes Papier, um Nebenlicht möglichst zu vermeiden. Die Ausbreitung des Öls läßt sich in der Projektion sehr gut verfolgen und verläuft insoferne wirkungsvoller, als die Ölschicht nun auch im Projektionsbilde die farbige Erscheinung an dünnen Flüssigkeitsschichten zeigt. Auch ist bei dieser Art der Ausführung der zweite Versuch noch aus größerer Entfernung zu verfolgen, während man bei dem früher beschriebenen Verfahren die Schüler doch gruppenweise in die Nähe des Schirmes treten lassen und daher den Versuch mehrmals wiederholen muß. Mehr Einzelheiten zeigt freilich die Methode mit dem Horizontalprojektionsapparate.

Schließlich soll noch darauf hingewiesen werden, daß die beschriebenen Versuche natürlich auch zur Einzelbeobachtung geeignet sind und daher vom Schüler daheim mit den allerbescheidensten Mitteln wiederholt werden können. Eine Untertasse, ein Teller oder — was ganz besonders gut geeignet wäre — eine schwarze Papiermaschétasse zu photographischen Zwecken und eine Nähnadel sind die einzigen Geräte, die erforderlich sind. Für die subjektive Beobachtung stellt man am besten die Wasserfläche zwischen dem Fenster und dem Platze des Beobachters auf und sieht in schräger Richtung auf die Wasserfläche, die in dieser Lage das Spiegelbild des hellen Himmels erblicken läßt. Die Ausbreitung, das Löcherigwerden, sowie die Interferenzfarben sind auch so sehr gut zu beobachten.

Eine einfache Vorrichtung zur Erläuterung des Dopplerschen Prinzips.

Von **Emil Schulze** in Altenburg.

Das Dopplersche Prinzip ist an dem Beispiel des gegen die Wellen fahrenden Kahns, der mehr Wellen auffängt als der ruhende und noch mehr als der in der Richtung der Wellen fahrende, so leicht verständlich zu machen, daß wohl wenige Physiklehrer sich dazu entschlossen haben, die in dieser Zeitschrift, Bd. 14, von Elsässer oder, Band 16, von Ganger zur mechanischen Veranschaulichung des Prinzips beschriebenen teuren Apparate anzuschaffen. Immerhin ist das Prinzip wegen seiner überaus bedeutungsvollen Anwendung in der Sternkunde so wichtig, daß die Beschreibung einer leicht und kostenlos herzustellenden Vorrichtung erwünscht sein dürfte.

In nebenstehender Figur stellt $ABCD$ eine weiße, liniierte, unten durch das Gewicht G beschwerte Papptafel dar. In A und B sind Fäden befestigt, die senkrecht nach oben über die an einem Holzrahmen angeschraubten Rollen R_1 und R_2 geführt sind. An ihren Enden hängen die gleich großen Gewichte G_1 und G_2, die die Tafel im Gleichgewicht halten. Die Rollen sind leicht drehbar, so daß der geringste Stoß von oben auf die Tafel sie zum gleichförmigen Sinken bringt. Vor der Tafel befinden sich die beiden gleichschweren Marken M_1 und M_2; ein an M_1 geknüpfter Faden führt über die beiden in den Holzrahmen eingeschlagenen Nägel N_1 und N_2 nach M_2. Setzt man die Tafel durch einen Stoß nach unten in Bewegung, so zieht an den ruhenden Marken ein Linienzug vorbei. Übt man während dieser Bewegung auf die Marke M_2 einen Zug nach unten aus, so streichen vor der Marke M_2 weniger Linien als vorher vorbei, an der Marke M_1 deren mehr.

Um mit Hilfe des Versuchs zur Aufstellung einer Formel zu gelangen, verfahre man folgendermaßen: Am Gewicht G befestige man einen Faden, der unten die Metall-

[1]) Eine ähnliche Methode wurde im 2. Bande meines Experimentierbuches, Abschn. 80, Abb. 248 beschrieben.

kugel K trägt. Hebt man die Tafel so hoch, daß die Kugel über der Platte MN schwebt, und läßt die Tafel los, so gerät sie zuerst in eine beschleunigte und nach dem Aufschlagen der Kugel in eine gleichförmige Bewegung. Man richte den Versuch so ein, daß jede dieser beiden Bewegungen eine Sekunde dauert. Durch Ausprobieren ermittle man die Höhe über der Platte, auf die die Kugel zu heben ist, um nach einer Sekunde auf der Platte aufzuschlagen. Ist diese Fallhöhe s z. B. gleich 7 cm gefunden worden, so ist, da während der ersten Sekunde $s = {}^1/_2\ b$ ist, die Beschleunigung $b = 14$. So groß ist auch die Geschwindigkeit c bei der gleichförmigen Bewegung während der zweiten Sekunde. Soll also die Tafel nach dem zweiten Schlage eines Metronoms unten auf der Platte aufstoßen, so muß der Faden, an dem die Kugel hängt, so lang gewählt worden, daß der Abstand des untersten Punktes der Kugel von der unteren Kante der Tafel 14 cm beträgt. Ferner müssen die Fadenteile M_1N_1 und M_2N_2 so lang sein, daß die untere Kante der Tafel vor ihrem Loslassen, dem Beginn der Bewegung, 7 cm höher hängt als die Marken M_1 und M_2. In diesem Fall wird nach dem ersten Metronomschlage die untere Kante genau in gleicher Höhe mit den Marken stehen. Für diesen Zeitpunkt ist die Figur entworfen.

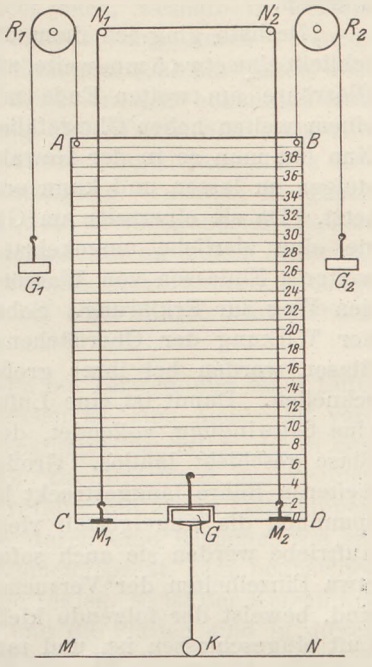


Fig. 1.

Ist der Abstand e zweier aufeinander folgender Linien der liniierten Tafel ${}^1/_2$ cm, so steht am Ende der zweiten Sekunde die 28. Linie in gleicher Höhe mit den Marken. An den ruhenden Marken ist also während einer Sekunde ein Wellenzug von 28 Wellen mit der Geschwindigkeit von 14 cm/sec vorbeigezogen. Allgemein ist $c = n\,e$, im Beispiel $14 = 28 \cdot {}^1/_2$.

Jetzt wiederhole man den Versuch mit der Abänderung, daß diesmal während der zweiten Sekunde die Marke M_2 durch einen gelinden Zug der Hand mit der gleichförmigen Geschwindigkeit v nach unten bewegt wird; mit derselben Geschwindigkeit bewegt sich die Marke M_1 nach oben. Befindet sich z. B. nach dem zweiten Metronomschlage die 38. Linie mit der Marke M_1 und die 18. Linie mit der Marke M_2 in gleicher Höhe, so ist vor M_1 ein Wellenzug von $n_1 = 38$ Wellen und vor M_2 ein Wellenzug von $n_2 = 18$ Wellen vorbeigezogen. Es ist $38 = 28 + 10$ und $18 = 28 - 10$, allgemein $n_1 = n + \nu$, $n_2 = n - \nu$. Da $c = n\,e$ und $v = \nu\,e$ ist, so ergibt sich $n_1 = \dfrac{c}{e} + \dfrac{v}{e} = \dfrac{c+v}{e}$. Der Versuch hat also zu den Formeln geführt

$$n_1 = \frac{c+v}{c} \cdot n \qquad n_2 = \frac{c-v}{c} \cdot n.$$

Klingende Tropfen und Siedegeräusche.

Von **A. Stroman** in Friedberg (Hessen).

Wenn von einem Wasserhahne in Pausen Tropfen in ein mit Wasser gefülltes Gefäß fallen, hört man unter Umständen Töne von oft großer Reinheit und wechselnder Höhe. Eine Reihe von Versuchen machte es wahrscheinlich, daß nur dann ein Ton entsteht, wenn von dem Tropfen Luft mitgerissen wird. Versuche mit Seifenlösung gaben Aufschluß. Mit jedem klingenden Tropfen bildeten sich auf der Oberfläche eine oder mehrere Seifenblasen. Nun war die Frage: Entsteht der Ton in

oder unter der Oberfläche? Eine dünne Schicht Petroleum auf reinem Wasser hält die Blasen kurze Zeit unter der Oberfläche. Also hatte der Ton unter Wasser geklungen.

Deshalb ging ich dazu über, die Luftblase im Wasser zu erzeugen. Man verschließt eine etwa 5 mm weite, zur Spitze ausgezogene und beiderseits rundgeschmolzene Glasröhre am weiten Ende mit einem Finger und taucht sie, die Spitze voran, in einem weiten hohen Glasgefäße unter. Dann kehrt man die Spitze wieder nach oben. Nun hat man es in der Gewalt, durch vorsichtige Lockerung des Fingers Luft aufsteigen zu lassen und kann erreichen, daß eine kleine Luftblase sich auf die Spitze setzt. Da sie einerseits am Glase adhäriert, anderseits einen Auftrieb erfährt, bildet sie eine zierliche umgekehrte Birne. Im Augenblicke, wo man die Blase durch weiteres Einlassen von Wasser freigibt, ertönt ein leiser Knall. Dieser Versuch weist den Weg zur Erklärung. Sobald die Blase sich von der Spitze löst, strebt sie unter der Wirkung der Oberflächenspannung danach, Kugelgestalt anzunehmen. Kleine Blasen werden bei ihrer großen Oberflächenspannung rasch zur Kugel zusammenschnellen. Damit ist eine Luftverdichtung mit folgender Verdünnung verbunden und eine Schwingung vollendet, der die eine oder die andere folgt. Der Aufstieg der Blase geschieht lautlos. Große Blasen, namentlich wenn sie unmittelbar aus einer weiteren Röhre langgestreckt herausschießen, werden bei ihrer geringen Oberflächenspannung die Kugelgestalt vielleicht nicht vollkommen erreichen. Bei ihrem starken Auftriebe werden sie auch sofort durch den Wasserwiderstand beeinflußt. Daß nicht etwa Einzelheiten der Versuchsanordnung für die Deutung des Vorganges wesentlich sind, beweist der folgende kleine Versuch: Man ballt die Hand zur Faust, so daß Luft eingeschlossen ist, und taucht sie im Gefäße unter. Wenn man dann Luftblasen zwischen den Fingern hervorquellen läßt, klingen sie ebenfalls.

Auch bei den klingenden Tropfen handelt es sich um klingende Blasen. Ebenso wenn Steinchen ins Wasser fallen. Es werden Luftblasen von verschiedener Gestalt und Größe mitgerissen. Im übrigen entsprechen die Vorgänge einander. Wenn bei einem Tropfen zwei Töne gehört werden, so hat Spritzwasser eine zweite Blase nachträglich erzeugt, die, dem kleineren Tropfen entsprechend, kleiner ist und infolge der größeren Spannung den höheren Ton gibt. Zwei oder mehr Blasen, die gleichzeitig tönen, geben einen musikalischen Klang. Das kann eintreten, wenn ein Tropfen mehrere Blasen bildet. Durch die klingenden Tropfen ist auch das Plätschergeräusch des rieselnden Wassers erklärt.

Auf ähnliche Art kommt noch das Siedegeräusch zustande. Erhitzt man in einem Becherglase auf einem Drahtnetze Wasser und geht langsam vor, so hört man bei 40^0—50^0 ein Knistern, hervorgerufen durch sich lösende Luftbläschen. Bei scharfer Beobachtung kann man sehen, wie die noch festsitzenden Bläschen sich vorher gestreckt, ja am Boden manchmal auch die vorher erwähnte Birnenform angenommen haben. Kommt es am Boden zur Dampfbildung, so sieht man, wie Blasen mit breiter Basis sich am Boden plötzlich bilden wollen und sofort wieder verschwinden. Das Wasser empfängt dadurch mächtige Anstöße zu Schwingungen, wobei Knalle gehört werden. Wenn die Bildung solcher Dampfblasen lebhafter wird, hört und sieht man sozusagen gleichzeitig ein ununterbrochenes Knattern. Stille tritt erst bei wallendem Sieden ein.

Über die Vorführung der an dicken Blättchen auftretenden Interferenzerscheinungen.

Von **P. Hanck** in Pasewalk.

Zu den klassischen Versuchen, die niemals im physikalischen Unterricht übergangen werden, gehören die Interferenzerscheinungen an dünnen, durchsichtigen Lamellen, sowohl die Farben dünner Blättchen als auch die Newtonschen Ringe. Zum

Teil geht man aber noch darüber hinaus und zeigt das Verhalten einfarbigen Lichtes gegenüber dicken Blättchen an dünnwandigen Glaskugeln, mikroskopischen Deckgläsern oder dergleichen im Natriumlicht. Man erklärt vielleicht auch, weshalb in weißem Lichte dicke Blättchen dem Auge farblos erscheinen müssen, aber durch Versuche werden die hier ebenfalls auftretenden Interferenzerscheinungen wohl nur selten vorgeführt werden. Ich schließe dies daraus, daß man selbst in den bekannten und weit verbreiteten Experimentierbüchern von Rosenberg und Weinhold keine Angaben darüber findet. Wie aber häufig vermeintliche Abweichungen von einem Gesetz bei genauerer Untersuchung seine glänzendste Bestätigung brachten, so geben auch hier scheinbare Unstimmigkeiten in Wirklichkeit den überzeugendsten Beweis für die Richtigkeit der Undulationstheorie. Man sollte deshalb die an dicken Blättchen zu beobachtenden Interferenzerscheinungen nach Möglichkeit nicht unberücksichtigt lassen. Ihre experimentelle Vorführung gestaltet sich bei einer hinreichend starken Lichtquelle nicht gerade schwierig.

Am besten kommt man nach meinen Beobachtungen bei Verwendung einer Luftlamelle, die zwischen zwei Spiegelglasplatten eingeschlossen ist, zum Ziel. Gut verwendbar sind zu dem Versuch unter anderm die rechteckigen Glasplatten, die in den Schülerübungen für die bekannten Stecknadelversuche zur Brechung des Lichtes benutzt werden. Zwei derartige Glasplatten werden sorgfältig mit einem Lederlappen gereinigt, dann aufeinander gelegt und an einem Ende durch eine Klemme, wie sie bei elektrischen Versuchen als Kohlenklemme dient, zusammengepreßt. Man beobachtet sie zunächst im Natriumlicht. Zeigen sie hier viele enge Linien, so ist der Keilwinkel der eingeschlossenen Luftschicht verhältnismäßig groß, und die Platten sind in dieser Zusammenstellung für den eigentlichen Zweck ungeeignet. Es liegt dies meistens daran, daß sie nicht genügend gereinigt sind, so daß sich zwischen ihnen noch kleine Staubteilchen befinden. Man entfernt diese und prüft die Platten dann von neuem. Besonders brauchbar sind sie für unsere Versuche, wenn die Linien einen Abstand von 3—5 mm haben und möglichst parallel verlaufen.

Beobachtet man das von den Platten zurückgeworfene Licht einer Kerze im Spektralapparat, so sieht man das Spektrum von einer großen Anzahl dicker schwarzer Streifen durchzogen. Zur Vorführung dieser Erscheinung im Unterricht wird man aber nach Möglichkeit die objektive Darstellung wählen. Man setzt vor die Kondensorlinsen des Projektionsapparates eine mit einem rechteckigen Ausschnitt von 3×4 cm Größe versehene Blende und stellt die Glasplatten unter einem Winkel von etwa 45^0 unmittelbar vor die Blende auf ein Tischstativ. In den Gang der reflektierten Strahlen bringt man Spalt und Objektiv des Projektionsapparates und verschiebt das Objektiv so, daß auf dem Schirm ein scharfes Bild des Spaltes entsteht. Das Spaltbild breitet man durch ein in den Strahlengang gebrachtes Prisma, am besten durch ein Geradsichtprisma, zu einem Spektrum aus, in dem man schon schwache dunkle Streifen erkennen wird. Um eine größere Lichtstärke zu erzielen, setzt man zwischen Glasplatten und Spalt noch eine Sammellinse mit nicht zu großer Brennweite [$f = 9$ cm] und verschiebt sie in Richtung des Strahlenganges und auch senkrecht dazu, bis die schwarzen Streifen auf dem Schirm recht klar erscheinen. Die Entfernung des Spaltes von den Glasplatten darf hierbei natürlich nicht beliebig gewählt werden, sie muß, da die durch die Linse auf den Spalt vereinigten Strahlen von den Platten divergent ausgehen, etwas größer als $4\,f$ sein.

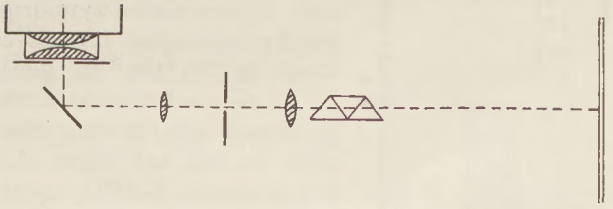


Fig. 1.

Man erhält so bei genügender Spaltbreite [3—4 mm] ein von allen Plätzen gut sichtbares Spektrum, das einen prächtigen Anblick gewährt und zu den schönsten Interferenzerscheinungen gehört. Hebt man den Tisch des die Glasplatten tragenden Stativs ein wenig, so ändert sich die Lage der Interferenzstreifen. Dasselbe erfolgt, wenn die Glasplatten in ihrer Längsrichtung verschoben werden. Ein Plattenpaar, welches die Streifen gut zeigt, bewahrt man am besten für spätere Versuche auf, da man so der Mühe der jedesmaligen Zusammenstellung enthoben ist.

Weiter stellte ich auch Versuche mit dem von einer dünnen Glaskugel reflektierten Licht an, erhielt aber die Streifen niemals so gut wie bei der Verwendung von Glasplatten. Recht geeignet erwiesen sich dagegen Seifenlamellen, die man durch Eintauchen eines rechteckigen Drahtrahmens in eine haltbare Seifenlösung erzeugt. Am besten spannt man hierbei den Drahtrahmen fest in ein Stativ, stellt eine Küvette mit Seifenlösung darunter und hebt sie so, daß der Rahmen vollständig benetzt wird. Man erspart auf diese Weise für den Fall des Zerspringens der Seifenlamelle eine erneute Einstellung. Die Interferenzstreifen verlaufen hierbei schräg und beginnen infolge des Abfließens der Seifenlösung zu wandern, sie sind aber außerordentlich deutlich und geben eine glänzende Erscheinung.

Ein einfacher Schwungmaschinenaufsatz zur Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents.

Von Dr. **Alfred Wenzel** zu Brandenburg a. H.

Für die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalents im Unterricht und in den Schülerübungen sind vielerlei Apparate angegeben worden[1]). Die meisten von ihnen sind für die heutigen Etatsverhältnisse der Lehranstalten zu kostspielig. Deshalb sei hier eine einfache Form eines solchen Apparates angegeben, die man sich in der Werkstatt selbst herstellen kann. Er ist als Aufsatz zu jeder Schwungmaschine verwendbar.

In beistehender Figur ist der Apparat in senkrechtem Achsenschnitt wiedergegeben. A ist ein 7 cm hoher Messingvollzylinder von 5,6 cm Durchmesser. Er ist von unten her axial zur Hälfte 1,3 cm stark zylindrisch ausgebohrt (FF_1G_1G). Von oben her trägt er ebenfalls eine 3 cm tiefe, 0,6 cm starke zylindrische Ausbohrung D, deren Achse von der Zylinderachse 1,4 cm entfernt und die zu $^1/_3$ mit Quecksilber gefüllt ist. In der unteren zylindrischen Ausbohrung FF_1G_1G steckt leicht drehbar, doch mit möglichst geringem Spielraum eine Messinghülse B, die oben geschlossen und unten offen ist und auf einem Holzzylinder C fest aufsitzt. C steckt fest in einem Metallzylinder K, der in den Kopf der Schwungmaschine eingesetzt wird. Der ganze Messingzylinder ist bis auf die beiden Bohrlöcher mit Asbestpappe E als Wärmeisolator umklebt. Die obere Bohrung D ist während des Versuchs mit einem Korken L verschlossen.

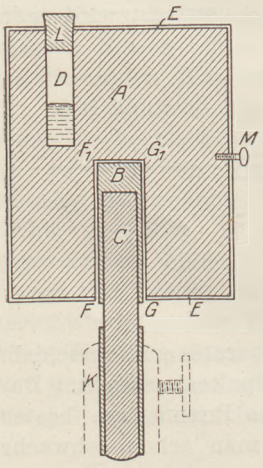


Fig. 1.

An der Deckfläche F_1G_1 der unteren Bohrung wird die aufgewandte mechanische Arbeit in Wärme umgewandelt, indem der Dorn CB gegen F_1G_1 reibt. A und B müssen gut aufeinander abgeschliffen werden, was man am einfachsten dadurch erreicht, daß man den Apparat auf die Schwungmaschine setzt, A festhält und womöglich mit Elektromotor den mit Öl benetzten Dorn B längere Zeit (15—20 Minuten) fest

[1]) Vgl. die Zusammenstellung in Poskes Didaktik des Physikalischen Unterrichts S. 284 bis 285 und in K. Rosenbergs Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre II, S. 124 ff. sowie in dieser Zeitschr. **32**. 159. 1919 (Ad. Lindemann) und **34**. 248. 1921 (A. Wendler).

gegen A reibt. Dieses gegenseitige Abschleifen ist erforderlich, um bei den späteren Versuchen eine möglichst gleichmäßige erschütterungsfreie Reibung zu erzielen.

Die Versuche verlaufen nun folgendermaßen. Wie oben wird der Apparat auf die Schwungmaschine gesetzt und ein am Haken M befestigter Faden über eine Rolle mit einer an einem Stativ hängenden Federwage von 300—400 g Tragfähigkeit verbunden. Der Dorn B muß stets mit Öl benetzt sein, damit die Reibung während des Versuchs recht gleichmäßig bleibt. Dann wird mittels eines Normalthermometers mit $^1/_{10}$ Gradteilung oder eines Thermoelements D die Temperatur T_1 des Messingkörpers gemessen. Nach der Temperaturbestimmung müssen Glasthermometer der Erschütterung wegen vor dem Versuch wieder herausgenommen werden. Nun dreht man — am praktischsten mit einem Motor — den Dorn KCB mit der Schwungmaschine schnell herum, wobei die Umdrehungszahlen des großen Schwungmaschinenrades gezählt werden müssen. Sie ergeben, mit dem Übersetzungsverhältnis multipliziert, die zur Berechnung erforderliche Umdrehungszahl des Dorns. Man kann diese letztere auch direkt durch das Zählwerk einer Sirene nach Cagniard de Latour bestimmen lassen. Auf die Achse der Sirene setzt man eine hölzerne Riemenscheibe (Rolle!) vom Durchmesser der Schwungmaschinenachse und verbindet beide miteinander durch einen Riemen. So entfällt die Arbeit des Zählens, die allerdings auch gut von den Schülern ausgeführt werden kann. Der Versuch muß so lange im Gang gehalten werden, bis eine Temperaturerhöhung erzielt ist, die an dem verwendeten Thermometer bis auf 1% genau abgelesen werden kann. Bei dem erwähnten Normalthermometer genügten demnach ca. 5^0. Die bei M gemessene mechanische Kraft muß in Abständen von je 15 Sekunden an der Federwage abgelesen werden. Das Mittel dieser Einzelwerte, die bei erschütterungsfreien Versuchen nur um höchstens 2% voneinander abweichen, ist die in Rechnung zu setzende Kraft K. Sie beträgt bei unserem 1200 g schweren Zylinder ohne besondere Belastung bis zu 310 Gramm. Sie wechselt mit der Ölung des Dorns B. Sofort nach Beendigung des Versuchs ist wiederum in D die Höchsttemperatur T_2 des Blockes A festzustellen, die nach wenigen Sekunden (höchstens 12) in D erreicht ist. Zweckmäßig ist, zur Vermeidung von Wärmeverlusten den Versuch so einzurichten, daß die Anfangstemperatur ebensoviel unter wie die Endtemperatur über der Zimmertemperatur liegt.

Die rechnerische Auswertung des Versuchs ist sehr einfach. Ist R der Radius des Zylinders, $r_1, r_2, r_3 \ldots$ die Radien der Punkte von B, die gegen $F_1 G_1$ mit der Kraft k_1, bzw. $k_2 \ldots$ reiben, so ist:

$$k_1 = \frac{K_1 \cdot R}{r_1},\quad k_2 = \frac{K_2 \cdot R}{r_2} \ldots \text{ etc., also:}$$

$$\sum_1^i k_i\, r_i = \sum_1^i R \cdot K_i = R \cdot K \text{ oder } \sum_1^i k_i\, r_i = R \cdot K.$$

Die bei der Reibung verrichtete mechanische Arbeit ist nach n Umdrehungen

$$A = n\,[k_i\, 2 r_1 \pi + k_2\, 2 r_2 \pi + k_3\, 2 r_3 \pi + \ldots . k_i\, 2 r_i\, \pi]$$

$$A = 2\, n \pi \sum_1^i k_i\, r_i = 2\, R\, \pi\, K \cdot n.$$

Die entstehende Wärmemenge ist:

$$W = G \cdot \sigma \cdot T$$

worin G das Gewicht von A und B ist, σ die spezifische Wärme von A und T die Temperaturerhöhung während des Versuchs. Das mechanische Wärmeäquivalent ist demnach:

$$J = \frac{A}{W} \text{ kgm, wobei } A \text{ in kg, und } W \text{ in kgcal berechnet sein muß.}$$

In nachstehender Tabelle sind Versuchsergebnisse mitgeteilt, wie sie nacheinander teils vom Verfasser (1—3, 6—10), teils von Schülern (4, 5) bestimmt sind.

Nr.	T_1	T_2	T	K in g	n	W - A.	Versuchsdauer in Minuten	Fehler in %
1	16,2°	20,4°	4,2°	246	4585	418	6	— 2,3
2	15,8°	19,0°	3,2°	260	3433	434	4	+ 2
3	18,7°	21,9°	3,2°	270	3410	448	4	+ 5 *
4	15,3°	18,8°	3,5°	250	3430	429	4	+ 0,6
5	18,2°	23,2°	5,1°	216	6163	414	5	— 3,2
6	15,6°	21,4°	5,8°	265	6100	433	5	+ 1,6
7	17,4°	24,3°	6,9°	273	7101	439	6	+ 3
8	21,4°	27,9°	6,5°	306	6021	443	5	+ 4 *
9	16,4°	21,2°	4,8°	285	4752	438	4	+ 3
10	22,0°	27,8°	5,8°	268	6250	450	5	+ 5,5 *

Mittel 434,8 mit 2% Fehler.
(Mittel ohne die extremen Werte * 3, 8 und 10 : 429.)

Aus diesen Werten, denen eine spezifische Wärme des Messings $\sigma = 0{,}092$ (nach Landolt-Börnstein-Meierhoffers Tabellen) zugrunde gelegt ist, ersieht man, daß man keine zu große Tempersturerhöhung über Zimmertemperatur (durchschnittlich 16,5° C) zulassen darf, d. h. man darf den Versuch nicht zu lange ausdehnen, da dann naturgemäß der Fehler, der durch Wärmeverluste verursacht wird, zu groß wird. Bei den mitgeteilten Versuchen geschah der Antrieb durch Elektromotor. Es ist aber ebensogut möglich, die Schwungmaschine mit der Hand zu drehen. Bei einer 4,7 fachen Übersetzung, wie sie z. B. unsere Schwungmaschine hat, erreichte Verf. beispielsweise in 5 Minuten ca. 2000 Umdrehungen des Dorns B, denen eine Temperaturerhöhung von ca. 2,5°—3° bei $K = 250$—300 g entspricht. Die Ungenauigkeit der Temperaturablesung kann man dadurch herabsetzen, daß man ein Thermoelement aus Eisen-Konstantan in Verbindung mit einem empfindlichen Spiegelgalvanometer (vgl. z. B. Fr. C. G. MÜLLER, diese Zeitschr. **34**, 145, 1921) verwendet, das eine Genauigkeit bis zu 0,02° zuläßt, doch ist diese Genauigkeit bei den hier vorgeführten ziemlich rohen Versuchen überflüssig.

Die Kraft K kann man dadurch variieren, daß man auf den Messingzylinder A mit Filzzwischenlage Gewichte aufsetzt. Hierdurch erzielt man bei den Versuchen mit Handbetrieb ungefähr die gleichen Temperaturerhöhungen wie oben ohne Gewichtsvermehrung. Es erübrigt sich, Versuchsreihen dieser Art des Verf. hier wiederzugeben; genannt seien nur die Resultate von 10 aufeinanderfolgenden Versuchen: 438; 416; 424; 438; 435; 437; 439; 445; 420; 430; im Mittel 432, also etwas mehr als 1% Fehler.

Genauere Einzelwerte ergeben sich, wenn die Wärmeverluste nach bekannten Methoden berücksichtigt werden; doch soll hier nicht darauf eingegangen werden.

Die Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes als Schülerübung.

Von **A. Glogger** in Landshut i. B.

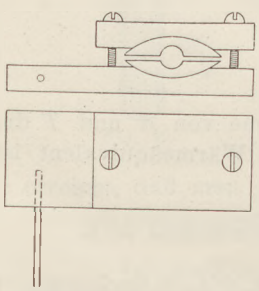


Fig. 1.

Der Wunsch nach einem Pulujschen Apparat und der Aufsatz von A. Wendler in dieser Zeitschr. 34, 228 brachten mich auf einen Schülerübungsapparat, der mir weniger Kosten verursachte wie eine Whitingsche Röhre.

Herstellung und Aufbau. Neu anzufertigen ist nur eine Vorrichtung, die an den Pronyschen Zaum erinnert (Fig. 1). Sie besteht aus zwei mit Korksegmenten ausgebetteten Brettchen, die durch zwei Holzschrauben zusammengehalten werden; von der Seite her ist ein dicker Draht als Kurbel hineingetrieben. Alles andere ist schon in der Sammlung vorhanden. Der Aufbau

selbst ergibt sich aus der schematischen Darstellung (Fig. 2). An der Stange des Ständers I ist mit der Doppelmuffe M_1 die Stange des Ständers II befestigt, an der mittels M_2 und M_3 die Klemmen K_2 und K_3 etwas nach aufwärts festgeschraubt sind; in K_2 und K_3 liegt ein Thermometer, so daß er sich leicht um seine Achse drehen kann, wobei links in K_3 noch ein Holzplättchen quer hineingezwängt ist, das beim Drehen als Widerlager dient. Zwischen K_2 und K_3 ist am Thermometer eine Klemme K_1 festgeschraubt, was nicht übermäßig streng gemacht zu werden braucht, wenn zuvor die Stelle angefeuchtet und fest mit Watte umwickelt wird, die dann auch ein Ausgleiten des Thermometers nach rechts verhindert. Es hält dann K_1 sehr gut, ohne daß das Thermometer der Gefahr der Zerstörung ausgesetzt wird. An den Stiel von K_1 ist mit Faden oder Draht ein Stab von $\approx$ 30 cm Länge gebunden und wird in der Nähe des freien Endes von einer Schnur gehalten, die an einer Spiralfeder mit der Kraftkonstanten $\approx 2 \left[\frac{g}{cm}\right]$ hängt. K_4 trägt zugleich einen Maßstab, vor dem das zugespitzte Ende des Stabes spielen kann.

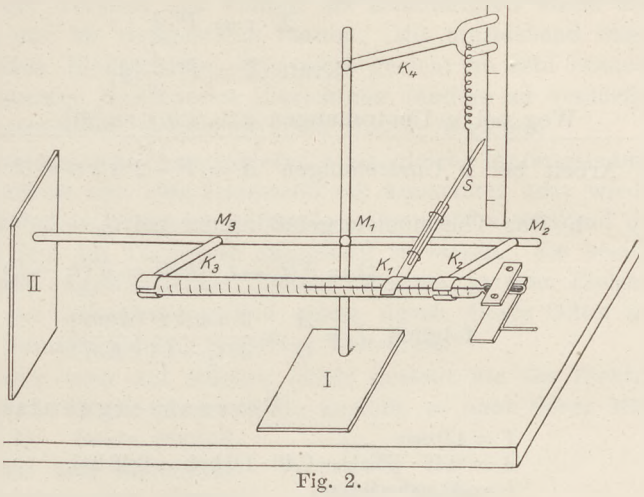


Fig. 2.

Ausführung des Versuches. Der „Pronysche Zaum“ wird über das Thermometergefäß geschoben und die Schrauben schwach angezogen, so daß beim Drehen die Klemme K_1, die anfangs nach oben zeigte, sich ungefähr wagrecht einstellt. Nach dem Ablesen der Temperatur t_1 (Rumfords Kunstgriff) wird n mal herumgedreht, wobei darauf zu achten ist, daß der Zeiger während der Drehung auf denselben Teilstrich weist, was bei einiger Übung gelingt. Unter Berücksichtigung des Temperaturrückganges während des Drehens ($\approx$ Hälfte des Rückganges unmittelbar nach dem Drehen in der Zeit, die zum Drehen nötig war) wird die Temperatur t_2 abgelesen. Hierauf kann durch Anhängen von Gewichten an die Schlinge S die Spannkraft der Feder während des Versuches gemessen werden. (Bei mehreren Versuchen — Tabelle oder graph. Darstellung.)

Weiter muß noch der Wasserwert des Thermometers ermittelt werden. Man mißt das Volumen des Thermometergefäßes V mit einer engen Meßröhre (oder mittels des Archimedischen Prinzips); dann ist, weil der Wasserwert von 1 ccm Glas oder Quecksilber $\approx$ 0,46 kal. beträgt, der Wasserwert des Thermometergefäßes $\delta = 0{,}46\ V$ kal. Wegen des geringen Wärmeleitungsvermögens von Kork blieb dessen Erwärmung unberücksichtigt.

Berechnung. Erhält man Q Kal Wärmemenge durch A *kgm* Arbeit, so erhält man 1 Kal. durch $\frac{A}{Q}$ *kgm*; das ist aber das mechanische Wärmeäquivalent J, folglich ist

$$J = \frac{A}{Q}\left[\frac{kgm}{Kal}\right]$$

Es ist also zu berechnen a) A, b) Q.

a) Ist X die Kraft, die zur Überwindung der Reibung außen am Thermometergefäß angreift, r dessen Radius, P die Spannkraft der Feder und l der Abstand der Schnur von der Drehachse, so ist

$$X \cdot r = P \cdot l$$

$$\text{Kraft } X = P \cdot \frac{l}{r} [g]$$

Weg bei n Umdrehungen $s = 2\,\pi\,r \cdot n\,[m]$

Arbeit bei n Umdrehungen $A = P \frac{l}{r} 2\,\pi\,r\,n = 2\,\pi\,n\,l\,P\,[gm] = 2\,\pi\,n\,l\,P \left[\frac{kgm}{10^3}\right]$

b) Das Thermometergefäß nimmt bei $(t_2 - t_1)^0$ Erwärmung auf

$$Q = \delta\,(t_2 - t_1)\,[kal] = \delta\,(t_2 - t_1) \left[\frac{Kal}{10^3}\right]$$

$$\text{folglich } J = \frac{A}{Q} = \frac{2\,\pi\,n\,l\,P}{\delta\,(t_2 - t_1)} \left[\frac{kgm}{Kal}\right]$$

Versuchsergebnisse.

$V = 1{,}0$ ccm
$\delta = 0{,}46 \cdot V$ kal. $= 0{,}46 \cdot 1{,}0$ kal. $= 0{,}46$ kal.
$l = 30$ cm $= 0{,}3$ m
$n = 10$

t_1	t_2	$P[g]$	$t_2 - t_1$	$A = 2\,\pi\,n \cdot l\,P = 18{,}8 \cdot P\,[gm]$	$Q = \delta\,(t_2 - t_1) = 0{,}46\,(t_2 - t_1)\,[kal]$	$J = \frac{A}{Q} \left[\frac{kgm}{Kal}\right]$
20,8	23,6	27	2,8	508	1,29	390
21,0	21,9	10	0,9	188	0,41	460
21,3	22,9	17	1,6	320	0,74	430

Zur Ausführung des Holtzschen Versuchs über die dielektrische Durchlässigkeit.

Von **H. Hermann** in Tübingen.

Die dielektrische Durchlässigkeit wird gewöhnlich zuerst am RIESSschen Verteilungsapparat (z. B. bei WEINHOLD, *Physikal. Demonstr. 4. Aufl., Abb. 431*) so gezeigt, daß man nachweist, daß ein zwischen die Konduktoren gehaltenes Dielektrik (Glasplatte) die Verteilung nicht hindert. W. HOLTZ hat in dieser Zeitschrift (*19, 215 ff.*) dargelegt, daß man diesen Versuch so verfeinern kann, daß die Zunahme der Verteilung beim Einschieben des Dielektriks unmittelbar ersichtlich ist. Ich halte diesen Versuch für die beste Einleitung in das Erscheinungsgebiet, aus zwei Gründen. Erstens wird dadurch die paradoxe Tatsache einer erhöhten Durchlässigkeit für elektrische Kräfte unmittelbar, statt auf dem Umweg des Vergleichs gleich wirksamer Dicken, gezeigt und damit das Wort Dielektrik verständlich. Zweitens ist er, wenn man nachher die üblichen Kapazitätsversuche, die ich selbstredend nach wie vor folgen lasse, anstellt, ein sehr gutes Beispiel dafür, wie eine auf dem nächstliegenden Wege (RIESSscher Versuch) noch nicht bemerkbare Erscheinung bei Verfeinerung der Hilfsmittel hervorzutreten beginnt, bei zweckmäßigster Anordnung (Kapazitätsmessung) aber plötzlich zu starker Wirkung und technischer Bedeutung gelangt.

Die Schwierigkeit der HOLTZschen Vorführung, welche a. a. O. näher beschrieben ist, hat mich, nachdem ich wiederholt nach HOLTZ gearbeitet hatte, darauf geführt, den Versuch mit dem NOACKschen Plattenkondensator (Sonderheft II, 1, dieser Zeitschr.) anzustellen[1]). Aus dem Wunsch, von der Paradoxie der Erscheinung aus rasch zu

[1]) *Anm. des Herausgebers.* Der in Fig. 1 dargestellte NOACKsche Kondensator unterscheidet sich von der gewöhnlichen Form hauptsächlich dadurch, daß die eine (obere) Platte von einem S-förmig gekrümmten Arm getragen wird, der um 180° gedreht werden kann. Die Feineinstellung

rationeller Hypothesenbildung zu erziehen, habe ich eine Ergänzung als Grundlage der CLAUSIUS-MOSSOTTIschen Theorie hinzugefügt.

HOLTZ hat erklärt, daß der Versuch mit Platten als Konduktoren kaum ausführbar sei. Dies gilt jedoch nur für weitgestellte Platten. Mit hinreichend enger Stellung und einem fein geteilten Elektrometer, das nicht geeicht zu sein braucht, ist er unter Benutzung der bequemen NOACKschen Einrichtung (andere zu versuchen habe ich keine Gelegenheit) entschieden leichter als nach HOLTZ' Angaben.

Um für das anfänglich zeitraubende Ausprobieren stets gleiche Anfangsladung der einen Platte zu haben, empfiehlt sich eine Ladestelle mit konstanter oder wieder herstellbarer Spannung. Ich habe es praktisch gefunden, eine solche während des größten Teils der Elektrostatik fest am Tischende aufgestellt zu lassen. Sie besteht bei mir aus Influenzmaschine mit angeschalteten Leidener Flaschen, grobem Elektrometer, geerdetem Drahtgitter zur Abschirmung und einem durch dieses Gitter geführten, mittels dickwandigen Gummischlauchs isolierten Ladedraht.

Der NOACKsche Kondensator wird auf Böcken höher gestellt als das Elektrometer, das mit einem steifen Draht an die untere Platte anstößt, so nahe deren Mitte als es sich machen läßt (Fig. 1). Beide Platten sind isoliert. Die obere wird mit dem Ladedraht berührt; das Elektrometer unten schlägt aus. Öffnet man den Kondensator, so verschwindet bei der NOACKschen Einrichtung der verteilende Einfluß der geladenen Platte merklich vollständig. Man legt das Dielektrik in Plattenform von wenigen Millimetern Dicke auf, schließt wieder (so weit, daß es gerade nicht berührt wird) und findet eine ganz kleine Zunahme des Ausschlags. An einem ungeeichten BRAUNschen Elektrometer mit Gradteilung nimmt der Ausschlag bei einer Dielektrizitätskonstante 2 - 3 etwa von 60^0 auf 61^0 zu. Entfernt man das Dielektrik reibungsfrei und schließt, so beobachtet man einen Rückgang von derselben Größe.

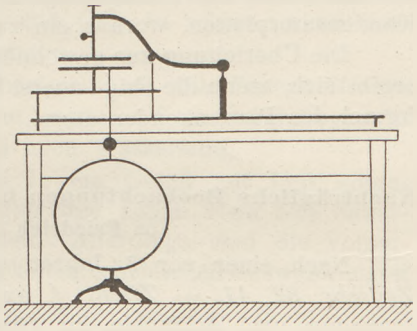


Fig. 1.

Zur Hinleitung auf das Wesen der Erscheinung wird der Kondensator ziemlich weit geöffnet (beim NOACKschen erhöht man die Stütze des Dreharms durch ein Stückchen Rohr); die obere Platte wird so kräftig geladen, daß das Elektrometer trotz der größeren Öffnung genügend ausschlägt, und nun ein passender dritter isolierter Konduktor, z. B. ein Elektrophorschild ohne Griff, indem man die Hartgummiplatte als Träger benutzt ohne den Schild zu berühren, zwischen die Platten geschoben. Er zieht anfangs einen Teil des Kraftflusses von der unteren Platte ab, so daß das Elektrometer sinkt; bei tieferem Einschieben jedoch kehrt der Kraftfluß in die alte Lage zurück und zeigt sich nunmehr intensiver als zuvor, die Elektrometernadel steigt höher als vorher. Hiermit ist die Grundlage für die CLAUSIUS-MOSSOTTIsche Erklärung der Dielektrizität durch innermolekulare Leitfähigkeit gelegt. (Ihre moderne Umbildung erwähnt man besser erst nach der Behandlung der magnetischen Parallelerscheinung, der Permeabilität.)

Es ist sogar möglich, wenn man will, die zahlenmäßige Bearbeitung der Erscheinung noch an diesen ersten Versuch anzuschließen. Sie ist zwar unbequemer durchzuführen, als mit dem gebräuchlicheren Verfahren der Kapazitätsmessung, liefert aber unter Berücksichtigung der von mir früher beleuchteten Gründe, welche die

erfolgt durch Drehen einer Schraube am Ende des Plattenträgers, die gröbere auf ganze Millimeter mit Hilfe einer seitlich angebrachten Millimeterskala. Die Isolation wird durch Bernsteinsäulen bewirkt. Eine bessere Abbildung findet man in der Preisliste von Leybolds Nachf. unter Nr. 5753 und in der Preisliste des Mechanikers Schunck in Gießen.

Ergebnisse auch beim gewöhnlichen Verfahren meist ungenauer werden lassen als der Apparatur entspricht *(diese Zeitschr. 33, 121)*, Ergebnisse, die leidlich genannt werden müssen, und ist eine gute Übung in scharfem Beobachten. Man definiert zu diesem Zweck als Durchlässigkeit das Verhältnis der Plattendicke zu der Luftschichtdicke, welche als Zwischenmittel denselben Verteilungsausschlag hervorruft. Zu ihrer Bestimmung nähert man nach Wegnahme des Dielektriks die Platten, bis der Ausschlag dem mit Platte gleich geworden ist. Hierbei muß langsam verfahren werden und nach jeder Schraubendrehung Hand und Arm wieder ganz entfernt werden, weil sie als geerdete Leiter den Elektrometerausschlag herabdrücken. Auf den unvorbereiteten Schüler wirkt es überraschend, zu sehen, welch beträchtliche Verengerung nötig ist, um die geringe Ausschlagszunahme, um die es sich handelt, wieder zu erhalten. Bei ladungsfreien Platten und Vermeiden von Reibung erhielt ich z. B. mit einer kreisförmigen Hartgummitafel, Durchmesser 16 cm, Dicke 2,5 mm, die gleichwertige Luftschichtdicke zu 0,95—1,05 mm, also die Durchlässigkeit 2,5; mit einer Paraffintafel, Gew. 115 g, Volum aus dem spez. Gew, 0,9 berechnet 128 ccm, Oberfläche 240 qcm, folglich mittlere Dicke 5,3 mm; gleichwertige Luftschichtdicke 2,6 mm; also die Durchlässigkeit 2,0. Beide Platten waren nicht größer als die Kondensatorplatten, woraus ein zu kleiner Wert der Durchlässigkeit folgen muß.

Die Überleitung zur gewöhnlichen Durchlässigkeitsdefinition (Kapazitätsverhältnis) ergibt sich, wenn die obige zuerst benutzt wurde, leicht aus der Kapazitäts-Näherungsformel des Plattenkondensators.

Nachträgliche Beobachtungen bei der Verbrennung von Holzkohle in Sauerstoff.

Von **Friedrich C. G. Müller** in Berlin-Lichterfelde.

Nach einer vor 3 Jahren veröffentlichten Untersuchung des Verfassers *(diese Zeitschr. 32, 41. — Ztschr. f. angew. Chemie 1920, Nr. 10)* entstehen bei der Verbrennung von Holzkohle im Glasrohr mittels Sauerstoff auch bei niedriger Verbrennungstemperatur stets erhebliche Mengen primären Kohlenoxyds. Mit der Steigerung der Temperatur durch beschleunigte Sauerstoffzufuhr bildet sich schließlich ein vorwiegend aus Kohlenoxyd bestehendes, mit blauer Flamme brennendes Gasgemisch (Fig. 2 von *32, 43*). Es gelang schließlich mittels der a. a. O. abgebildeten Versuchsanordnung binnen 1 Minute 3 L Kohlenoxyd vor der Klasse synthetisch darzustellen. Nachdem das mit kleinkörniger, im Tiegel ausgeglühter Holzkohle beschickte, senkrecht eingespannte Rohr aus schwer schmelzendem Glase durch Befahren mit einer Bunsenflamme vorgewärmt, wird ein lebhafter Strom möglichst reinen Sauerstoffs durchgesaugt, worauf sich eine nur wenige Millimeter dicke Verbrennungsschicht von blendender Weißglut bildet, welche in einer Minute etwa um 4 cm hinabsteigt. Das angesaugte Gas besteht nach dem Durchleiten durch ein Natronkalkrohr aus fast reinem Kohlenoxyd.

Ein merkwürdiger Nebenumstand ist der, daß das durch Verbrennung von Kohle mit reinem Sauerstoff im Rohr gebildete Gas immer etwa 4 Prozent freien Wasserstoff enthält, mag die Temperatur hoch oder niedrig gehalten werden. Derselbe entstammt nachweislich dem in der Kohle noch gebundenen Rest dieses Elements. —

In der Folgezeit wurde auch der Verbrennungsvorgang beim Eintauchen glimmender Holzkohle in ein Gefäß mit reinem Sauerstoff eingehender untersucht. In Hinblick auf die vorangegangenen Beobachtungen läßt sich voraussagen, daß zu Beginn des Versuchs, wo wenig verdünnter Sauerstoff die Kohle bei Weißglut verzehrt, vorwiegend Kohlenoxyd gebildet werden wird, welches allerdings alsbald der vollständigen Verbrennung zu Dioxyd anheim fallen muß. In der Tat ist ein dünner, die weißglühenden Kohlenteile einhüllender Flammenmantel deutlich erkennbar, selbst von den vorderen Plätzen der Schüler aus. Dieser verschwindet dann bei träger werdender Verbrennung ziemlich plötzlich. Bei dem zu Ende schreitenden Prozeß wird, nach dem, was oben festgestellt worden, auch bei Rotglut etwas primäres

Kohlenoxyd gebildet werden, das indessen bei dem stark mit Dioxyd verdünnten Sauerstoff unverbrannt bleibt. Die Gasanalyse ergab wirklich in dem erkalteten Gasgemenge neben vorwiegendem CO_2 und etwa 8% O_2 stets 5—7% CO. Freier Wasserstoff hingegen läßt sich wider Erwarten nicht nachweisen.

Um die beiden Phasen der Verbrennung gesondert zu verfolgen, wurde das in ein Gefäß mit Sauerstoff getauchte Kohlestäbchen in dem Augenblick herausgenommen, wo der erwähnte Flammenmantel verschwunden war. Nun enthielt eine Probe des Gasgemenges 33% CO_2, 52% O_2 aber kein CO. In dieses Gas wurde nachher das wieder glühend gemachte Kohlestäbchen von neuem getaucht und bis zum Erlöschen belassen. Jetzt ergaben sich 52,6 CO_2; 10,2 O_2; 7,6 CO. Der bei diesen Versuchen benutzte Sauerstoff enthielt etwa 12% Stickstoff. Außerdem wird beim Ein- und Ausführen des Stäbchens noch Luft eingedrungen sein.

Somit ist der chemische Vorgang bei diesem schönen Sauerstoffexperiment weit verwickelter als man bis dahin wohl angenommen hat. Selbstverständlich wird dadurch auch das Volumverhältnis gestört. Es tritt stets eine merkliche Volumverminderung ein, deren Hauptursache in der Verbrennung des in der Kohle enthaltenen Wasserstoffs und in der Absorption von CO_2 in dem erkalteten Kohlerest zu suchen ist. Besser gelingt es die Volumgleichheit von O_2 und CO_2 zu zeigen, wenn man grobstückige Holzkohle im Rohr bei Rotglut verbrennt.

Als man in dem abgebildeten Apparat atmosphärische Luft statt Sauerstoff verwendete, ging die Temperatur nicht über Hellrotglut, und im Verbrennungsprodukt fanden sich 16—17% CO_2, aber weder Kohlenoxyd noch Wasserstoff.

Dagegen konnten nach dem Verglimmen eines in ein Gefäß mit Luft eingetauchten glühenden Holzkohlestäbchens in dem Gasgemenge neben etwa 5% Sauerstoff auch bis 2% Kohlenoxyd nachgewiesen werden. Allerdings sind die Volumverhältnisse bei diesen Versuchen infolge von Zufälligkeiten erheblichen Schwankungen unterworfen.

Zur Oxydation von Ammoniak zu Salpetersäure.

Von Dr. **Heinrich Grosse Kreul** in Stettin.

Die Oxydation des Ammoniaks ist nicht nur vom methodischen Standpunkt aus beachtenswert, sondern auch technisch von großer Bedeutung. Wird doch gegenwärtig in Deutschland die gesamte Salpetersäure nach diesem Verfahren gewonnen. Neben Platin als Kontaktsubstanz hat sich in hervorragender Weise auch Eisenoxyd bewährt, namentlich dann, wenn es geringe Mengen gewisser fremder Metalloxyde enthält. Bei den augenblicklichen Preisen für Platin und Platinverbindungen dürften nähere Angaben über das Arbeiten mit dem billig zu beschaffenden Eisenoxydkatalysator willkommen sein. Als Kontaktsubstanz dient Eisenoxyd, Fe_2O_3, mit einem Gehalt von 5% Wismutoxyd, Bi_2O_3. Man erhält ein Gemenge dieser Oxyde, wenn man gemischte Lösungen von Ferri- und Wismutnitrat mit Ammoniak fällt und die gewaschenen Hydroxyde nach dem Trocknen im bedeckten Porzellantiegel kräftig glüht. Eine geeignete Ausgangslösung erhält man z. B. wenn man 41,6 g Ferrinitrat, $Fe(NO_3)_3\,6\,H_2O$, und 0,86 g Wismutnitrat, $Bi(NO_3)_3\,5\,H_2O$, in destilliertem Wasser löst. Die heiße Lösung wird mit Ammoniak im Überschuß versetzt und der Niederschlag ausgewaschen. Man läßt ihn dann auf dem ausgebreiteten Filter zunächst an der Luft trocknen, wobei die vorher möglichst gleichmäßig verteilte Masse durch die Trockenrisse in zahlreiche Stücke zerspringt. Das so erhaltene Produkt wird nun, ohne es zu pulverisieren, in einen Porzellantiegel gebracht und bei aufgelegtem Deckel etwa $^1/_2$ Stunde über dem Teclubrenner kräftig geglüht. Es stellt dann eine rotbraune körnige Masse dar, die man nötigenfalls durch vorsichtiges Zerdrücken der größten Stücke auf annähernd gleiche Korngröße bringt.

Der Aufbau des Apparats geschieht in folgender Weise. Die Drechselsche Waschflasche *A* wird etwa 3 cm hoch mit wässeriger Ammoniaklösung [d = 0,957] gefüllt, sie steht einerseits mit einem Sauerstoffgasometer in Verbindung, andererseits mit einem Rohr aus schwer schmelzbarem Glase von etwa 20 cm Länge und 10 mm innerem Durchmesser. Dieses wird mit dem körnigen Katalysator auf eine Schichtlänge von 9—10 cm gefüllt, und in einer etwa 1 l fassenden tubulierten Vorlage *C* gasdicht befestigt. Durch den nach unten gewandten Tubus der Vorlage ist ein Glasrohr in einen Reagierzylinder *D* geführt, der etwa 25 ccm Wasser enthält.

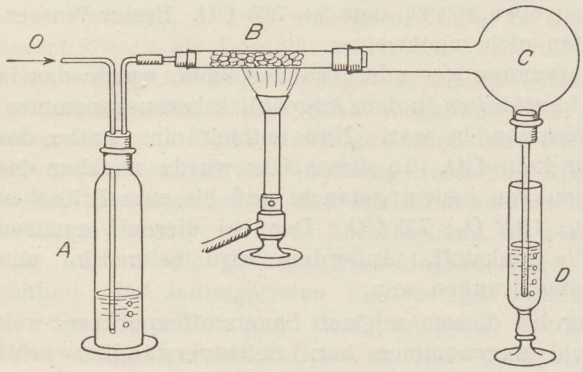


Fig. 1.

Nachdem der Apparat auf Dichtigkeit geprüft ist, wird die Röhre mit dem Katalysator zunächst vorsichtig angewärmt, dann kräftig erhitzt. Sobald das Rohr anfängt zu glühen, wird der Sauerstoffstrom angestellt und die Geschwindigkeit so bemessen, daß die Gasblasen beim Durchgang durch die Flüssigkeit noch getrennt wahrnehmbar sind. Nach ganz kurzer Zeit füllt sich die Vorlage mit braunen Dämpfen, die auch bei künstlicher Beleuchtung weithin sichtbar sind, namentlich wenn man hinter den Apparat einen weißen Hintergrund hält. Hat man die Gasgeschwindigkeit etwas reichlich bemessen, so ist auch sofort der charakteristische Geruch der Stickoxyde bemerkbar; durch Verminderung der Sauerstoffgeschwindigkeit kann man dann eine fast vollständige Absorption der Stickoxyde durch das Wasser erreichen. Nach kurzer Dauer kann der Versuch abgebrochen werden. Gebundenes Ammoniak [NH_4NO_2 oder NH_4NO_3] war in der Flüssigkeit nicht nachweisbar, ein Zeichen für die gute Wirksamkeit des Katalysators.

Für die Praxis.

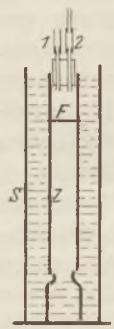


Fig. 1.

Demonstration der Ausströmungsgeschwindigkeit aus engen Öffnungen. Von **S. Janß** in Uetersen (Holstein). Über die beiden kurzen Glasröhren 1 und 2 im doppelt durchbohrten Korken am Ende eines Lampenzylinders *Z* schiebt man kurze Gummischläuche mit Quetschhähnen; in Schlauch 2 ist ein Glasrohr mit feiner Spitze geschoben. Letztere stellt man am besten dadurch her, daß man das ausgezogene Rohr zunächst zuschmilzt und dann mit einer feinen Feile vorsichtig abfeilt, bis mit der Lupe eben ein Loch sichtbar wird. Etwas unterhalb des Gummikorkens bindet man um *Z* einen Zwirnsfaden *F* und stellt *Z* in einen Standzylinder mit Wasser. — Durch das Rohr 1 bläst man soviel Luft hinein, daß *Z* damit bis zur Einschnürung gefüllt ist, dann quetscht man Schlauch 1 ab, öffnet 2 und stellt mit der Stoppuhr die Zeit fest, in der das Wasser bis *F* steigt. Mit Leuchtgasfüllung ist die Zeit erheblich kürzer und noch kürzer mit Wasserstoff.

Sparwege im chemischen Unterricht. Von O.-St.-R. Dr. **Küspert** in Nürnberg. Für den Arbeitskreis der Schülerübungen neu gebaut, würde der Bunsenbrenner heute sicher nicht mehr als die nach Spatzen schießende Kanone dastehen, die er ist, weil

doch die meiste Arbeit in den Reagenzgläsern geschieht. Auch sonst sind wir in den Zeiten des Überflusses manchen Sparweg nicht gegangen. Die Magnesiastäbchen könnten überall da, wo es nur auf das Vorweisen irgend einer Flammfärbung, nicht auf strenge analytische Prüfung ankommt, ersetzt werden durch ein naß in den Probestoff gestecktes reines Holzstäbchen (nicht in die Flamme getaucht, sondern dem Saum genähert). Wo ein Stückchen Eischale, das Täfelchen Marienglas, der Knochensplitter, das Magnesiumbändchen in Arbeit zu nehmen, da hätte statt der Pinzette ein gespaltenes Hölzchen genügt. Doch, das sind wohl bekannte Sachen. Vielleicht aber ist es neu, daß sich gebrauchte Stahlfedern als Löffelchen, Liliputgefäße und Unterlage für Glühproben eignen, wenn sie umgekehrt in den Halter gesteckt werden. Solch eine kleine Schüttrinne faßt gerade so viel, als zum Versuch gehört und läßt noch dazu, was etwa im „Röstrohr“ (= wagrecht gehaltener Reagenzglasbruch) zu erhitzen ist, auf das bequemste an der gewünschten Stelle abladen. Manche Schmelzprobe ist auf dieser „Federrinne“ geschwind und einfach durchzuführen. Das Anbrennen eines Zinktropfens im Lötrohrfeuer, das Glühen eines Bröckelchens Marmor bietet keine Schwierigkeit und erspart die (methodisch gedacht, oft störende) Holzkohle. Die Federrinne habe ich auch brauchbar befunden für den Versuch des dunklen Weiterglühens reinen Eisenstaubes; vor allem die wandernde Änderung der Farbe ist gut sichtbar (Abklopfen danach liefert den bekannten Funkenregen, so daß dieser Teil des Versuches auch für den Schautisch paßt). Ruß aus Marmormehl durch Magnesium abzuscheiden, gelingt an den winzigen Mengen überraschend gut. Gerade weil wenig in Arbeit genommen wird, kann die Probe fast augenblicklich auf weißem Papier verrieben und der Erfolg sichtbar gemacht werden. Gefahr für die Schüler besteht, bei einiger Vorsicht keine (auch als Schauversuch zu zeigen). Die Möglichkeiten zur Verwendung der Federrinne sind damit noch lange nicht erschöpft; wer sie benützt, wird das bald selber merken, z. B. erspart sie beim Versuch Fe + S das stets verloren gehende Reagenzglas.

Noch ein Wort über das oben erwähnte „Röstrohr“. Abgesehen von dem im Namen angedeuteten Zweck (nebenbei: als Bleichblüte dient zweckmäßig lila Flieder) eignet sich der Reagenzglasbruch — außer für Schwelversuche mit Brennstoffen — für allerlei Trockenerhitzungen. Beispiel: Ton, Gips, Salmiak; der Beschlag wird doppelt sichtbar, links und rechts der Arbeitsstelle (Nebenergebnis: schöne Form der Isothermenlinie). Manche Versuche, wie das Entwässern von Soda, bringen das Rohr nahezu immer zum Springen; in unserem Falle kein Schaden. Sonst ist der Bruch meist nicht verloren und dient nach dem Reinigen von neuem. An der Mündung mit einem Kork verschlossen, ersetzen bodenlose Reagenzgläser vielfach das unverletzte Rohr, mit dem Vorteil, daß sie am Kork freihändig in die Flamme gehalten werden können. So zugerichtet, empfiehlt sich der Bruch z. B. für die Reduktion von Bleioxyd durch Holzkohle, eine Arbeit, die auch bei mäßiger Hitze die Gläser verdirbt. (Der bereits in gelindem Feuer kommende Bleistaub wird auf Papier mit der Messerklinge glänzend gestrichen.)

Von Haus aus langsame, oder aus Spargründen absichtlich mager gehaltene Gasbildungen mit so wenig Lieferung, daß sich das Versuchsrohr nicht füllt, können dennoch zu gute gemacht werden: bei Wasserstoff, indem man einen langen Zündspan (nicht zu dick!) einführt; bei Chlor, indem man das durch Faltung versteifte Lackmusstreifchen in ein genügend langes Spalthölzchen klemmt und das (nur vorn befeuchtete) Papier in die wirksame Atmosphäre führt usw.

Flüssigkeiten für Fällungen verteile ich so, daß der erste Mann in der Reihe nur das Bodenrund des Versuchsröhrchens gefüllt bekommt. Wird der Vorrat von Mann zu Mann entleert, so bleibt immer noch genug Flüssigkeit hängen. Das Vergnügen der Schüler über die Knauserei wird bald zum Verständnis, auch in der Richtung, daß es gilt, die Beobachtung kleinster Wirkungen zu lernen. Alles in

allem genommen: der Grundsatz der knappsten Mittel weckt bekanntlich auch die Eigentätigkeit der Schüler.

Schutzglas für das chemische Praktikum. Von **O. Ohmann** in Berlin-Pankow. Je weiter wir die chemischen Schülerübungen, besonders auf der Unterstufe, durchführen, desto mehr wird es zur Pflicht, allen etwaigen Gefahren möglichst vorzubeugen. Im Demonstrationsunterricht dient diesem Zwecke bei verschiedenen Versuchen die große ca. 8 mm starke Glasschutzplatte in niedrigem Eisengestell, die in keiner Schule fehlen sollte, da sie auch dem Experimentierenden bei den Vorversuchen unschätzbare Dienste leistet. Für die Übungen empfehlen wir, jedem Praktikanten ein rechteckiges, aus Fensterglasresten geschnittenes „Schutzglas", etwa von den Abmessungen 12 : 16 cm, einzuhändigen; auch erledigte photographische Platten entsprechen dem Zweck vorzüglich. Das Glas wird in den meisten Fällen in der Hand gehalten, nämlich immer, wenn eine Hand zum Experimentieren genügt. Andernfalls stellt man das Schutzglas S (längs oder quer) mehr oder weniger aufrecht, indem man es mit zwei Plastilinkugeln a, b (s. Fig.) auf einer Pappe (ev. Asbestpappe) P, ausnahmsweise unmittelbar auf der Tischplatte, durch kräftiges Andrücken befestigt. Genügt das nicht, so tritt die Schutzbrille ein, die durch das Schutzglas keineswegs ganz ausgeschaltet sein soll. In meinen Experimentierkursen an der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht hat sich die Vorsichtsmaßregel gut bewährt; auch der Name Schutzglas entstand aus diesem Kreise heraus. Das Schutzglas sollte zur Platzausrüstung jedes Praktikanten gehören.

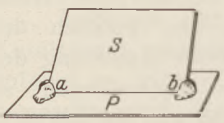


Fig. 1.

Die Beseitigung von Natriumresten. Von **O. Ohmann** in Berlin-Pankow. Die beim Arbeiten mit Natrium (und Kalium), insbesondere beim Reinigen des unter Erdöl oder viel besser unter Paraffinöl aufbewahrten Metalles entstehenden Reste beseitigte man bisher am besten durch sofortiges Einbringen in eine kleinere, mit absol. Alkohol halb gefüllte Porzellanschale (mit nebenliegender Asbestpappe, zum Aufdecken für den Fall einer Selbstentzündung). In dieser Zeit der Alkoholteuerung empfehlen wir die direkte Verbrennung der Reste auf einem alten ausgeglühten Asbestpappenstück unter dem Abzug. Die nach Beendigung aller Versuche eingesammelten Reste werden, unter Zuhilfenahme von Dreifuß und Drahtnetz, direkt von oben her mit der entleuchteten Flamme erhitzt. Jedesmal, wenn der Quecksilberglanz an einer Kugel auftritt, entferne man für einige Sekunden die Flamme. Die dann eintretende, ungefährliche Verpuffung (*vgl. dieses Heft S. 219*) entfernt das Metall am sichersten, während bei gleichmäßig andauerndem Erhitzen die entstehende Oxydschicht die darunter liegenden Metallteilchen oft überraschend lange vor der Oxydation schützt, wovon man sich durch Aufträufeln von Wasser, das am Schluß der Operation überhaupt noch vorgenommen werden mag, leicht überzeugen kann. Beiläufig sei daran erinnert, daß durch nachlässige Beseitigung, wie Einwerfen in den Papierkorb, wiederholt Brände entstanden sind. Auch das beliebte Einbringen des Fließpapiers mit den Resten in die Wasserleitung ist zu verwerfen — die Gefahr der beim Zerplatzen der glühenden Kügelchen umherfliegenden Ätznatronteilchen ist nicht zu unterschätzen.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Zehn Jahre Atomtheorie von Niels Bohr. Von Dr. A. WENZEL, Brandenburg a. H.

Zehn Jahre sind nun schon verflossen, seit NIELS BOHR in den *Philosophical Magazine* zum ersten Male mit seiner neuen Theorie der Vorgänge im elementaren Atom, die sich an die Vorstellungen RUTHERFORDS anschloß, hervortrat (1). Über die seither gewonnenen Forschungsergebnisse, die sich besonders auf die Beziehungen zwischen dem Atombau und den Linienspektren beziehen, ist an dieser Stelle mehrfach berichtet worden (2). Wie jede in der Entwicklung begriffene Theorie hat auch die Bohrsche Atomtheorie schon mehrfache Wandlungen erfahren, damit sie besser den Tatsachen gerecht würde. Hierher gehört vor allem die Theorie über den Aufbau der Bahnen, die die Elektronen bei ihren Bewegungen um den Atomkern beschreiben.

Anfangs machte sich BOHR die Vorstellung vom Atom, daß um den Kern von positiver Ladung die negativen Elektronen in kreisförmigen Bahnen flögen, ähnlich den Planeten im Sonnensystem. Mit diesem Gedanken schien ein neuer Schritt zur Vereinheitlichung unserer Weltvorstellung getan, zumal BOHR auch die Keplerschen Gesetze auf die Bewegung seiner Elektronen mit Erfolg anwandte. Allerdings bediente er sich zur Auslese der stationären Elektronenbahnen aus der Unzahl der möglichen der zuvor von M. PLANCK entwickelten Quantentheorie. Es erschien nun aussichtsreich, die unter dem Namen „Störungstheorie" bekannten mathematischen Methoden der Astromie auch auf die Elektronensysteme der Atome anzuwenden. Nach BOHR nimmt die Zahl der Elektronen von Element zu Element um eine Elektrone zu. Es war daher notwendig, die Anordnung der Elektronen zur Vereinfachung der mathematischen Entwicklungen zu schematisieren, wollte man nicht in die bekannten Schwierigkeiten geraten, die schon das Dreikörperproblem der Astronomie gemacht hatte. Daher ordnete BOHR in seinen ersten Arbeiten die Elektronen in Ringen an. Diese tragen in den Ecken regelmäßiger Polygone verteilt die Elektronen und drehen sich mit ihnen in ihrer Ebene mit konstanter Geschwindigkeit herum. Hierbei war allein die gegenseitige Störung der Ringe zu berücksichtigen. Ihre Theorie spielte eine Zeitlang eine große Rolle in der Deutung der Röntgenspektren, wobei man allerdings zu einer Besetzung der innersten Elektronenringe gelangte, die den Forderungen der Systematik der chemischen Erfahrungen widersprach. So ging SOMMERFELD bald von der Vorstellung der ringförmigen Elektronenbahnen ab und ließ die Elektronen Ellipsenbahnen durchlaufen, wobei die Ellipsenscheitel eine Perihelbewegung machen sollten.

Bei diesen Versuchen, die Folgerungen aus dem Aufbau des Atoms mit seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften in Einklang zu bringen, zeigte sich, daß die bisherigen Vorstellungen zu falschen Ergebnissen führten. Mehrere Ansätze zu neuen Vorstellungen über die Elektronenbahnen erwiesen sich ebenfalls in ihren Folgerungen als unbrauchbar. Denn von keiner wurde das Ziel, die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Elemente, wie sie im periodischen System zum Ausdruck kommen, aus den Atomstrukturen entnehmen zu können, einwandfrei erreicht. Erst eine neue Betrachtungsweise BOHRS war von Erfolg gekrönt, sein „Aufbauprinzip". Dies besteht darin, daß das sukzessive Einfangen der Elektronen durch die Atome mit wachsender Kernladung durch das ganze periodische System verfolgt wird. Teils aus theoretischen Betrachtungen, teils durch kritische Musterung der empirischen Spektralterme zieht BOHR hierbei Schlüsse auf die bei der Anlagerung eines Elektrons umgesetzte Energie.

Dieser Prozeß der sukzessiven Bindung von Elektronen durch den positiven Kern unter Aussendung von elektromagnetischer Strahlung kann in der Natur unter geeigneten Umständen wirklich auftreten. Denken wir uns einen einzelnen einfach positiv geladenen Kern, der sich ein Elektron einfängt und mit ihm ein neutrales Wasserstoffatom bildet. Von den unendlich vielen Bahnen, die das Elektron bei diesem Vorgang beschreiben könnte, sind nur diejenigen möglich, bei denen die Energiezunahme beim Übergang von der einen zur folgenden Bahn ein Energiequantum beträgt. Diese möglichen stationären Bahnen hat BOHR theoretisch bestimmt und in einem Bilde schematisch dargestellt, das hier in Fig. 1 wiedergegeben ist.

In dieser Fig. 1 ist jeder Bahn ein Symbol der Form n_k beigefügt, worin n die Hauptquantenzahl, die verschiedenen Stufen der Bin-

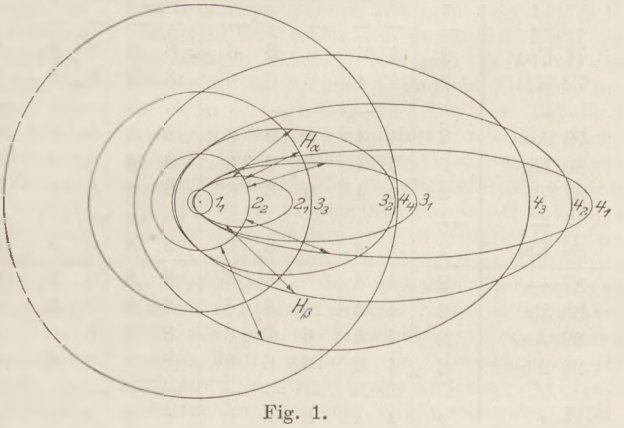
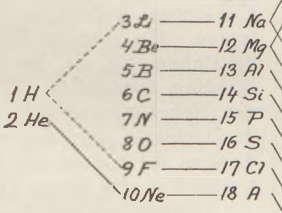


Fig. 1.

Tab. 1. Elektronenbahntypen der Elemente nach Bohr.

nk → / ↓ Element	1_1	2_1 2_2	3_1 3_2 3_3	4_1 4_2 4_3 4_4	5_1 5_2 5_3 5_4 5_5	6_1 6_2 6_3 6_4 6_5 6_6	7_1 7_2
1 H	1						
2 He	2						
3 Li	2	1					
4 Be	2	2					
5 B	2	2 (1)					
— —	—	— —					
10 Ne	2	4 4					
11 Na	2	4 4	1				
12 Mg	2	4 4	2				
13 Al	2	4 4	2 1				
— —	—	— —	— —				
18 A	2	4 4	4 4				
19 K	2	4 4	4 4	1			
20 Ca	2	4 4	4 4	2			
21 Sc	2	4 4	4 4 1	(2)			
22 Ti	2	4 4	4 4 2	(2)			
— —	—	— —	— — —	—			
29 Cu	2	4 4	6 6 6	1			
30 Zn	2	4 4	6 6 6	2			
31 Ga	2	4 4	6 6 6	2 1			
— —	—	— —	— — —	— —			
36 Kr	2	4 4	6 6 6	4 4			
37 Rb	2	4 4	6 6 6	4 4	1		
38 So	2	4 4	6 6 6	4 4	2		
39 Y	2	4 4	6 6 6	4 4 1	(2)		
40 Zr	2	4 4	6 6 6	4 4 2	(2)		
— —	—	— —	— — —	— — —	—		
47 Ag	2	4 4	6 6 6	6 6 6	1		
48 Cd	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2		
49 In	2	4 4	6 6 6	6 6 6	2 1		
— —	—	— —	— — —	— — —	— —		
54 X	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4		
55 Cs	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	1	
56 Ba	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4	2	
57 La	2	4 4	6 6 6	6 6 6	4 4 1	(2)	
58 Ce	2	4 4	6 6 6	6 6 6 1	4 4 1	(2)	
59 Pr	2	4 4	6 6 6	6 6 6 2	4 4 1	(2)	
— —	—	— —	— — —	— — — —	— — —	—	
71 Cp	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 1	(2)	
72 Hf	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	4 4 2	(2)	
— —	—	— —	— —	— — — —	— — —	—	
79 Au	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	1	
80 Hg	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2	
81 Te	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	2 1	
— —	—	— —	— — —	— — — —	— — —	— —	
86 Em	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	
87 —	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	1
88 Ra	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4	2
89 Ac	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 1	(2)
90 Th	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	6 6 6	4 4 2	(2)
— —	—	— —	— — —	— — — —	— — —	— — —	—
118 ?	2	4 4	6 6 6	8 8 8 8	8 8 8 8	6 6 6	4 4

dung des Elektrons und die zugesetzte Nebenquantenzahl k die Reihenfolge der Bindung in derselben Stufe bedeutet. Beide Zahlen enthalten die Charakteristika der betreffenden Elektronenbahn. Bei neutralen Atomen höherer Kernzahl verteilen sich demnach die Elektronen auf Gruppen, die vom Mittelpunkt zur Atomoberfläche sich nach steigender Hauptquantenzahl n anordnen. Die Elektronen jeder Gruppe bilden Untergruppen, die den Nebenquantenzahlen k entsprechen. Wie aus der Fig. 1 zu sehen ist, haben alle Bahnen mit der gleichen Hauptquantenzahl n in erster Näherung dieselbe große Achse, während die Bahnen mit denselben k-Werten dieselbe Länge des Parameters, d. h. der kleinsten Sehne durch den Brennpunkt besitzen. Wenn das Elektron diese Bahn der Reihe nach durchlaufen hat, gelangt es schließlich auf die einquantige Bahn n, die es beibehält. Damit ist die Bildung des Wasserstoffatoms beendet. Dieses Einfangen eines Elektrons, d. h. der Übergang des Elektrons von einer stationären Bahn zur anderen ist begleitet von der Aussendung des Wasserstoffspektrums. Bei den Atomen der anderen Elemente wird durch das Einfangen eines jeden weiteren Elektrons ein Serienspektrum ausgesandt, das dem entstehenden Element eigen ist. Dieser Prozeß ist jedesmal dann beendet, wenn das Serienelektron seinen Normalzustand erreicht hat. Den vorletzten Abschnitt dieses Atomaufbaues erkennen wir an den optischen Funkenspektren, wobei das Atom von der Kernladungszahl N, das schon $(N-2)$ Elektronen eingefangen hat, das $(N-1)^{te}$ Elektron aufnimmt. Den letzten Aufbauabschnitt haben wir bei der Aussendung des Bogenspektrums vor uns, das durch die Angliederung des letzten, des N-ten Elektrons zu den schon eingefangenen $(N-1)$ Elektronen hervorgerufen wird.



Was die Form der Bahnen anbetrifft, in denen sich die gebundenen Elektronen bewegen, so kann man im Falle des Wasserstoffs und Heliums aus ihren Spektren schließen, daß hier die Elektronen auf den zirkularen Bahnen 1_1 laufen, die beim Helium gegeneinander geneigt liegen. Das dritte Elektron, das beim Lithium neu hinzukommt, wird aber im Normalzustand so gebunden, daß es sich auf einer präzessierenden Zentralbahn eines neuen Typus (2_1 in Fig. 1) bewegt, denn die innere einquantige Gruppe ist beim Helium besetzt — die elektrodynamische Stabilität verbietet weitere Elektronen auf dieser Bahn 1_1 —, somit muß beim Lithium die Ausbildung einer neuen Elektronengruppe beginnen.

Dieser sukzessive Aufbau hat BOHR zu einem allgemeinen Bilde von der Konstitution der Atome geführt, das an der Hand der Deutung der empirischen Spektralgesetze eine ungezwungene Erklärung des eigentümlichen Wechsels der Eigenschaften der Elemente mit der Atomnummer zuläßt, wie er im periodischen System der Elemente zum Ausdruck kommt. Die Tabelle auf S. 266 gibt die hauptsächlichsten Züge der Klassifikation der Elektronenbahn im normalen Atom nach BOHR (4) wieder. In der obersten Horizontalreihe sind die Quantenzahlen n_k der in der ersten Vertikalreihe stehenden Elemente angegeben, denen die Atomnummer vorgesetzt ist. Die in der Tabelle angegebenen Zahlen bedeuten die Anzahl Elektronen, die im Normalzustande des Atoms sich auf den durch das Symbol n_k gekennzeichneten Bahnen bewegen. So hat z. B. Kalium 19 Elektronen, von denen sich 2 auf der einquantigen Bahn 1_1 bewegen, je 4 auf den Bahnen 2_1, 2_2, 3_1 und 3_2 und ein Elektron auf der Bahn 4_1 (vgl. Fig. 1). Aus der Tabelle 1 ersehen wir ferner, wie mit fortschreitender Atomnummer die verschiedenen Elektronengruppen allmählich ausgebildet und abgeschlossen werden. Dies findet im allgemeinen nur in der äußersten Gruppe statt, die dem größten Wert der Quantenzahl entspricht und tritt besonders deutlich in der Veränderung der optischen Spektren von Element zu Element zutage. Zuweilen findet aber auch die weitere Entwicklung einer inneren Gruppe statt, wodurch die Abweichungen der einfachen Periodizität in der Änderung der Eigenschaften der Elemente mit wachsender Atomnummer erklärlich werden. Solche Elemente hat

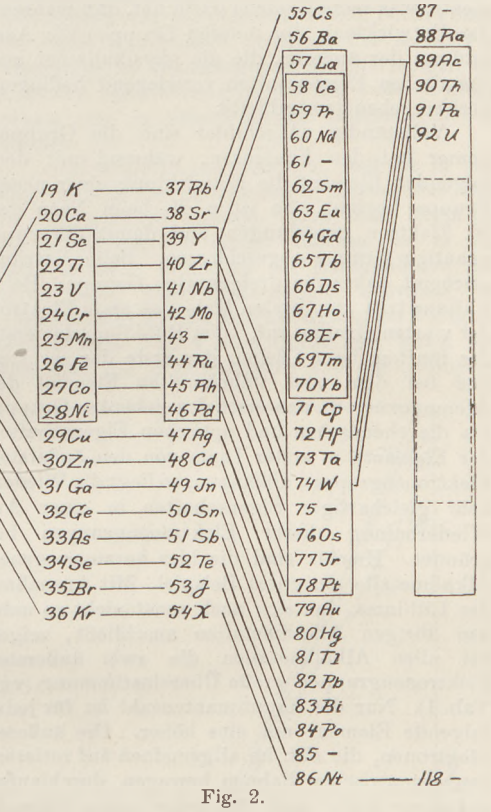


Fig. 2.

BOHR in seiner Darstellung des periodischen Systems der Elemente eingerahmt. Fig. 2 gibt uns diese Darstellung wieder.

Hierin bezeichnen die Vertikalreihen die Perioden, während die Elemente mit homologen Eigenschaften durch Striche verbunden sind. Elementreihen, bei denen innere Elektronengruppen in Ausbildung begriffen sind, haben wir z. B. in der 4. Periode von Skandium bis Nickel, in der 5. Periode von Yttrium bis Palladium usw. Eine solche Ausbildung innerer Elektronengruppen äußert sich in der nahen Verwandtschaft in manchen Eigenschaften der Elemente, was seine Ursache darin hat, daß während der Entwicklung der inneren Gruppen die Ausbildung der äußeren, die die physikalischen und chemischen Eigenschaften vorwiegend bedingen, vorübergehend unterbleibt.

Vollständig ausgebildet sind die Gruppen immer bei den Edelgasen, während mit dem folgenden Element die Entwicklung einer neuen Gruppe beginnt. So ist z. B. beim Neon das 10. Elektron eingefangen und damit die zweiquantige Gruppe abgeschlossen. Beim Natrium erscheint daher die dreiquantige Gruppe. Beim Kalium tritt zum ersten Male das erste Elektron der vierten Gruppe auf, beim Rubidium das erste der fünften, beim Cäsium das erste der sechsten und bei dem noch unbekannten Element der Atomnummer 87 das erste der siebenten Gruppe. Da die chemischen und optischen Eigenschaften der Elemente in erster Linie von den äußersten Elektronengruppen abhängen, so liegt die Wiederkehr gleichartiger Eigenschaften in einer Art Wiederholung dieser Elektronengruppen begründet. Hierfür sind die hier herangezogenen Alkalimetalle ein gutes Beispiel. Mit Ausnahme des Lithiums, das sich auch sonst nicht so nahe den übrigen Alkalimetallen anschließt, zeigen bei allen Alkalimetallen die zwei äußersten Elektronengruppen große Übereinstimmung (vgl. Tab. 1). Nur die Hauptquantenzahl ist für jedes folgende Element um eins höher. Die äußeren Elektronen, die sich im allgemeinen auf rotierenden exzentrischen Bahnen bewegen, durchlaufen auf ihrer Bahn auch die weiter innen liegende Elektronenhülle der niedriger quantigen Bahnen.

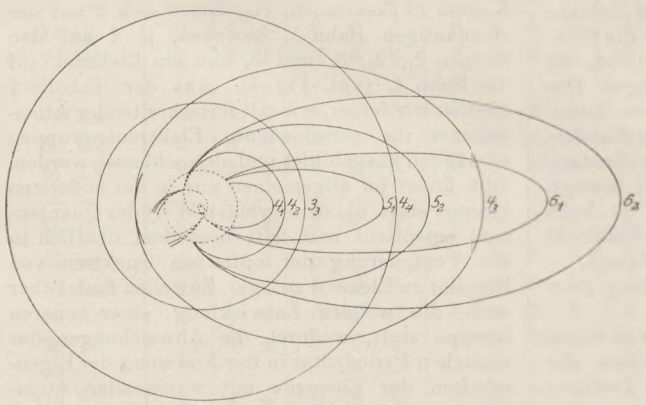


Fig. 3.

Der oben genannte Unterschied der Hauptquantenzahlen n der äußersten Elektronengruppe ist vor allem einem Unterschied im inneren Teil der Bahn zuzuschreiben — angenähert ist die große Hauptachse der Bahnen dem n proportional! —, während die äußeren Bahnteile einander sehr ähnlich sind.

Die Eingliederung des letzten Elektrons in das Atomgefüge geht, wie oben erwähnt, unter Aussendung des Bogenspektrums des betreffenden Elements vor sich. Nehmen wir an, die 18 Elektronen des Kaliums wären in ihren normalen Bahnen angelangt, so tritt die Frage auf, welche stationären Bahnen das letzte 19. Elektron bei seiner Eingliederung in das Kaliumatom durchlaufen kann. Diese Bahnen hat BOHR schematisch festgestellt. Sie sind in Fig. 3 wiedergegeben, worin der punktierte innere Kreis das Gebiet angibt, in dem sich die 18 inneren Elektronen bewegen, also die Bahnen 1_1 bis 3_2 liegen. Den Charakter dieser Bahnen, der im allgemeinen sehr verwickelt ist, können wir uns vorstellen, wenn wir uns Fig. 1 so während der Rotation der Elektronen auf diesen Bahnen 3_2 bis 1_1 gedreht denken, daß nach 4 Umläufen die äußeren Elektronen wieder in der gezeichneten Bahn laufen. Die übrigen Kurven der Fig. 3 deuten die Bahnen an, die das letzte Elektron bei seiner Bindung durchläuft. Während die Bahnen mit den Nebenquantenzahlen 3 und 4 ganz außerhalb des Gebietes der inneren Elektronen verlaufen, dringen die Bahnen mit den Nebenquantenzahlen 1 und 2 in das innere Gebiet ein.

Denken wir uns Fig. 2 vergrößert auf Fig. 1 übertragen, so erhalten wir damit ein Bild der Grundbahnen aller Elektronengruppen des Thalliums. Nur müssen wir auch hierbei wieder bedenken, daß die Bahnen selbst rotierende Bewegungen ausführen.

Wie schon gesagt, werden die Abweichungen der Elemente von der Periodizität mit der Ausbildung einer inneren Elektronengruppe in Zusammenhang gebracht. Die einzelnen Untergruppen von Elektronen treten nämlich nicht in der Reihenfolge in den Atomverband ein, wie es ihrer Hauptquantenzahl n entsprechen würde. Das zeigt sich z. B. beim Übergang vom Argon zum Kalium (vgl. Tab. 1), wo das Elektron nicht die Bahn 3_3 besetzt, sondern die Bahn 4_1. Für Kalium muß es auf 4_1 stärker gebunden sein als auf 3_3. Der Grund hierfür ergibt sich aus folgender Überlegung. Bei einem positiven Kern ohne Elektronen ist, wie elektrodynamische Untersuchungen zeigen, ein Elektron auf der 3_3-Bahn stärker gebunden als auf der 4_1-Bahn, da hier seine Bindungsenergie in erster Annäherung umgekehrt proportional der zweiten Potenz der Hauptquantenzahl, die annähernd die große Achse darstellt, ist. Das würde für Wasserstoff zutreffen. Im Falle des Kaliums aber haben wir einen

positiven Kern mit 18 Elektronen vor uns. Wegen der starken Exzentrizität der 4_1-Bahn ist der Minimalabstand des Elektrons, das sich auf dieser Bahn bewegt, vom Kern geringer als die Dimensionen der Bahnen der früher gebundenen Elektronen. Bei seinem Umlauf taucht also das Elektron auf 4_1 ganz in die innere Elektronenhülle hinein, so daß es dem Kern noch näher kommt wie das Elektron auf der 1_1-Bahn. In der zirkularen 3_3-Bahn dagegen bleibt das Elektron während seines ganzen Umlaufs außerhalb der inneren Elektronenhülle (vgl. Fig. 1). Auch ist das Elektron auf der 4_1-Bahn stärker gebunden als auf der 3_3-Bahn, da es auf der letzteren zu sehr von den übrigen 18 Elektronen abgeschirmt wird.

Ähnlich liegt es beim Calcium, wo schon 2 Elektronen auf der 4_1-Bahn vorhanden sind. Bei den Elementen mit höherer Ordnungszahl aber wird der Einfluß der 18 inneren Elektronen immer kleiner, so daß schließlich ein Elektron kommen muß, bei dem die Bindung auf der dreiquantigen Bahn stärker ist als die auf der einquantigen. Dies tritt schon beim nächsten Element, dem Skandium, ein. Hier beginnt die Ausbildung der inneren Gruppe, die erst beim Nickel beendet ist. So geht von Element zu Element die Vervollständigung begonnener und die Bildung neuer Elektronengruppen vor sich. Diesen Prozeß hat BOHR bis zum Element mit der Kernladung 118 durchgeführt, das wir allerdings nicht kennen und dessen Existenz überhaupt zweifelhaft ist.

Diese Vorstellung BOHRS über die Struktur der Atome findet ihre wesentlichste Stütze in den Röntgenspektren, die nach MOSELEYS Tod von M. SIEGBAHN und seinen Schülern eingehend erforscht worden sind. An der Hand des umfangreichen Materials, das in den letzten Jahren auf diesem Gebiete erarbeitet worden ist, ist es möglich gewesen, wie bei den optischen Spektren (2) die Schwingungszahl für jede Linie eines Röntgenspektrums als Differenz von zwei Spektraltermen darzustellen, die für das betreffende Element charakteristisch sind. Die Annahme, daß jeder dieser Spektralterme mit der PLANCKschen Konstanten multipliziert der Arbeit gleichkommt, die zur Abtrennung eines inneren Elektrons dem Atom zugeführt werden muß, schafft eine Verbindung zwischen den Spektraltermen und dem Atombau. Nun stehen nach BOHR die Elektronen der Bahnen $2_1, 2_2$ und 1_1 in engster Beziehung zueinander, da sich ihre Bahnen kreuzen. Wird durch irgend einen Vorgang, z. B. durch Bestrahlung oder durch Elektronenstoß ein Elektron der einquantigen Gruppe aus dem Atomverband herausgerissen, so tritt sofort ein Elektron der zweiquantigen Gruppe an seine Stelle und vervollständigt damit die erste Gruppe wieder. Dieser „Reorganisationsprozeß" des normalen Atoms wird von der Aussendung eines charakteristischen Röntgenspektrums eingeleitet, das durch den Übergang eines Elektrons von der zwei- zur einquantigen Bahn hervorgerufen wird. Je stärker die Kernladung ist, desto größer ist die auf die innersten Elektronen ausgeübte Kraft und desto schnellere Schwingungen führt das Elektron bei diesem Überspringen zur innersten Bahn aus. Daher nehmen auch die Wellenlängen der charakteristischen Röntgenstrahlen mit zunehmendem Atomgewicht ab.

Sollen Röntgenlinien ausgesandt werden, so muß also eins der inneren Elektronen aus dem Atomverbande entfernt werden, während sich die Vorgänge, die als Ursache der optischen Eigenschaften angesehen werden, in den äußeren Elektronengruppen abspielen. Hierin beruht auch der große Unterschied zwischen der selektiven Absorption im Röntgengebiet und derjenigen im optischen Spektralbereich, wo die äußeren Elektronen nur in höherquantige Bahnen gehoben werden.

D. COSTER (5) hat gefunden, daß die in den Röntgenspektren auftretenden Terme sich mit der Atomnummer ändern. Hier fand BOHR (4) die Bestätigung für einige Schlüsse, die er aus dem Atombau bezüglich der Röntgenlinien gezogen hatte. Diese Beziehungen zwischen der Atomnummer und den charakteristischen Röntgentermen stellt Fig. 4 nach BOHR dar, worin die Abszissen die Atomnummern und die Ordinaten

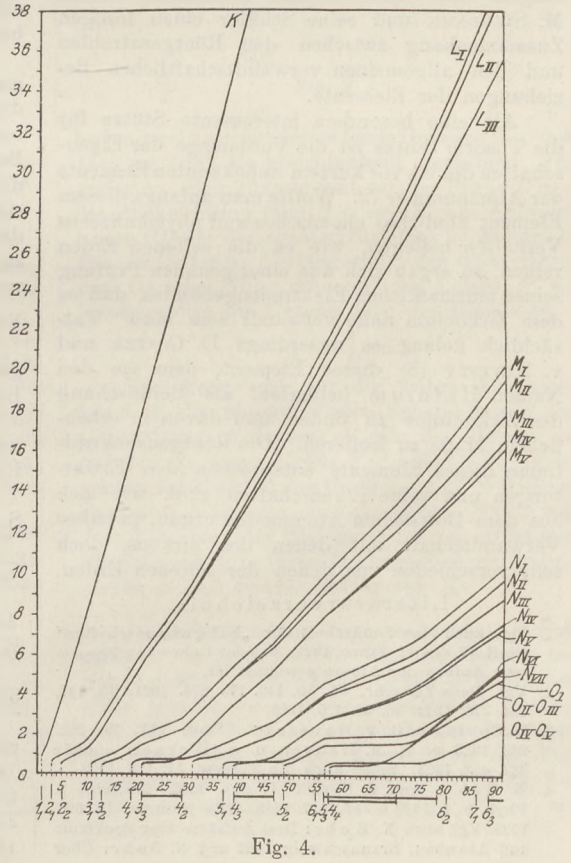


Fig. 4.

die Wurzeln aus den Spektraltermen sind, während *K, L, M, N, O* bei den einzelnen Termen die charakteristischen Diskontinuitäten in der selektiven Absorption der Elemente für Röntgenstrahlen bedeuten.

Die in dieser Figur zutage tretenden Abweichungen der Kurven vom gleichmäßigen Verlauf hat COSTER erst nach der Aufstellung der BOHRschen Atomtheorie gefunden, wodurch sie einen besonderen Wert als Stütze dieser Theorie erhalten. Unter der Abszisse sind in der Figur durch senkrechte Striche die Stellen markiert, wo man nach der Theorie im Normalzustande des Atoms das Auftreten von n_k-Bahnen des *L*-, *M*-, . . .-Typus erwarten sollte. Diese Erwartungen sind durch die Messungen in Erfüllung gegangen, wie Figur zeigt. Auch die Vervollständigung einer inneren Gruppe von Elektronen, deren zugehörige Atomnummern unter der Abszisse durch einen horizontalen Strich angedeutet sind, macht sich durch Abflachung der Kurven an diesen Stellen bemerkbar, was besonders bei den *N*- und *O*-Kurven deutlich hervortritt. Während MOSELEYS Gesetz scheinbar gar keinen Zusammenhang zwischen den Röntgenspektren und den besonderen Eigenschaften der Elemente herstellen konnte, was sich noch in dem glatten Verlauf der *K*-Kurve der Fig. 4 ausdrückt, kennen wir jetzt dank der verfeinerten Messung der Wellenlängen der Spektrallinien besonders durch M. SIEGBAHN und seine Schüler einen innigen Zusammenhang zwischen den Röntgenstrahlen und den allgemeinen verwandtschaftlichen Beziehungen der Elemente.

Als eine besonders interessante Stütze für die Theorie BOHRS ist die Vorhersage der Eigenschaften des bis vor kurzem unbekannten Elements der Atomnummer 72. Wollte man anfangs diesem Element ähnliches chemisches und physikalisches Verhalten beilegen, wie es die seltenen Erden zeigen, so ergab sich aus einer genauen Prüfung seines mutmaßlichen Elektronengebäudes, daß es dem Zirkonium nahe verwandt sein muß. Tatsächlich gelang es neuerdings D. COSTER und v. HEVESEY (3) dieses Element, dem sie den Namen Hafnium beilegten, als Beimischung des Zirkoniums zu finden und davon in erheblichem Maße zu isolieren. Die Röntgenspektrallinien dieses Elements entsprechen den Erwartungen und seine Eigenschaften sind, wie sich aus dem BOHRschen Atommodell ergab, in naher Verwandtschaft mit denen des Zirkons, doch sehr verschieden von denen der seltenen Erden.

Literaturverzeichnis.

1. Vgl. auch das Sonderheft der „Naturwissenschaften“ (Heft 27 des 11. Jahrg. 1923), das der Bohrschen Theorie vom Aufbau der Atome gewidmet ist.
2. Vgl. diese Zeitschr. 34. 30. 129. 173. 274. 1921. 35. 137. 184. 278. 1922. 36. 51. 125. 1923.
3. D. Coster u. G. v. Hevesey: Nature 111. 79. 252. 962. 1923 u. H. M. Hansen u. S. Werner: ebenda 322. 462. 1923. Siehe auch die Naturw. 11. 133. 1923.
4. N Bohr: Ann. d. Physik 71. 228. 1923. Zeitschr. f. Phys. 9. 1. 1922 u. 13. 117. 1923. Die Naturw. 11. 606. 1923. Vgl. auch N. Bohr: Drei Aufsätze über Spektrum und Atombau. Braunschweig 1922 und N. Bohr: Über die Quantentheorie der Linienspektren. Braunschweig 1923.
5. N. Bohr u. D. Coster: Zeitschr. f. Phys. 12. 342. 1923.

Räumliches Sehen. Zusammenfassender Originalbericht von Dr. HANS WITTE in Wolfenbüttel (Technische Hochschule Braunschweig).

A. Einleitung.

1. Aufgabe. Von den hochragenden Gebieten der menschlichen Sinnesempfindungen hat die rechnende Physik zwei erobert, Farbensehen und Klängehören. Es gilt, ein drittes zu bezwingen, das räumliche Sehen.

Wir sehen den „Raum“ {R} nicht, wie er ist. Nur in unmittelbarer Nähe deckt sich die „Sehgröße“ y der Dinge mit der „wahren Größe“ (Tastgröße) Y, mit zunehmender Entfernung erscheint jedes Ding kleiner. Nur in unmittelbarer Nähe deckt sich die „Sehferne“ x mit der „wahren Entfernung“ X, weiterhin erscheinen alle Entfernungen verkürzt. Trotzdem haben wir den Eindruck, einen Raum zu sehen, den „Sehraum“ {r}.

Die Frage ist: Lassen sich Sehgröße y, Sehferne x und Sehraum {r} in Zahlgesetze fassen?

2. Vorgeschichte. Schon das Altertum[1]) hat die Aufgabe erkannt. Die planmäßige Forschungsarbeit haben Hering[2]) und Helmholtz[3]) begonnen, v. Kries[4]) fortgesetzt. Schließlich stellten Martius[5]), Hillebrand[6]) und Poppelreuter[7]) das Sehen in unmittelbarer Beobachtungsnähe, bis etwa 4 m, sicher.

3. Hemmungen. Beim Farbensehen wertet man gegenständliche Wirklichkeit und Empfindungswirklichkeit, Schwingungszahlen und Farben, gleichmäßig. Ähnlich beim Klängehören. Beim Raumsehen dagegen müssen die Empfindungen gegen das Wissen kämpfen. Die Widerstände sind besonders stark bei der Sehferne x; daher empfiehlt es sich, zuerst die Sehgröße y zu untersuchen[8]).

---

[1]) Lukrez, De rerum natura. Buch 4, Vers 426 ff. u. a.

[2]) Hering, Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. Hermanns Handb. d. Phys. Bd. 3, Tl. 1, S. 343 ff., Leipzig 1879.

[3]) v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. 3. Aufl., Bd. 3, S. 129 ff. usw. Hamburg und Leipzig 1910.

[4]) v. Kries, ebenda. Zusätze, besonders S. 307 ff. und 324 ff.

[5]) Martius, Wundts philosophische Studien. 5, 601, 1889.

[6]) Hillebrand, Denkschrift der Wiener Akademie der Wissenschaften, math.-naturw. Klasse. 72, 1902.

[7]) Poppelreuter, Zeitschr. f. Psych. 54, 311, 1910; 58, 200, 1911.

[8]) Zu Nr. 3—33 vgl. H. Witte, Über den Sehraum. Physik. Zeitschr. 19, 142, 1918; 20, 61, 114, 126, 368, 389, 439, 470, 1919. Normale Betrachtungsperspektive, ebenda, 21, 101, 1920. Zahlen zum Sehraum, Verhandl. d. deutsch. Physikalischen Gesellsch. 3. Reihe, 3. Jahrg. S. 26

B. Die Sehgröße.

4. Himmlische Grundtatsache. Ungelehrte Menschen geben erstaunlich treffsicher und übereinstimmend an, wie groß Gestirne, Gestirnabstände u. dgl. aussehen. Für die mittlere Sehgröße des Mondes findet man durchschnittlich (in „Sehzentimetern", cm′)

$$y \sim 20 \text{ cm}'.$$

Dieser „Tellermond" ist lebhaft bestritten worden[1]), hat sich aber mit den anderen Gestirnsehgrößen immer wieder bestätigt. Zeugnisse aus älteren Zeiten[2]) sind unter anderen: das Zollmaß für Mond- und Sonnenfinsternisse, griechische und ägyptische Götterbilder mit Sonne oder Mond auf dem Kopfe, babylonisch-assyrische Ellen- und Zollmaße für den Sternenhimmel, künstliche Sonnenscheiben (die vorgeschichtliche von Trundholm auf Seeland 24 cm).

5. Irdische Messungen lassen sich mit ungelehrten Menschen ähnlich befriedigend durchführen. Ein ferner Kirchturm, eine Scheune, ein Baum sehen so groß aus wie eine Stecknadel oder ein Bleistift, eine Streichholzschachtel usw., oder einfach „so groß" (mit den Händen gezeigt).

6. Zusammenschluß. Alle Werte schließen sich zu einer verständlichen Durchschnittsgesamtheit zusammen. Die gefundenen Verkleinerungszahlen beschreiben etwa die Kurve 3 der Figur 1,

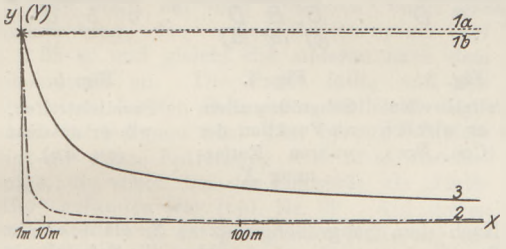


Fig. 1.

zeigen also z. B. bei 100 m wahrer Entfernung eine Verkleinerung auf etwa 20 % des Ausgangswertes.

Die Physik nannte bisher den Sehwinkel scheinbare Größe, danach müßte bei 100 m wahrer Entfernung eine Verkleinerung auf weniger als 1 % erreicht werden (Kurve 2). Die Psychologie leitete bis jetzt die scheinbare Verkleinerung aus Entfernungsschätzfehlern her, sie wollte also die Empfindung aus einem Urteil erklären; dann aber müßte — unter Zugrundelegung der bekannten Sterneckschen Schätzfehlerzahlen — die Verkleinerung der Kurve 1b folgen, sie müßte zunächst der wahren Größe Y (Kurve 1a) ganz nahe bleiben, bei 100 m dürfte erst eine Verkleinerung um 1 % bestehen.

7. Gerade Linien. Geht man von verstreuten Einzeldingen zu stetigen Linienzügen über, so drängt sich eine Tatsache auf: Gerade Linien erscheinen beinahe wieder als gerade Linien; sie scheinen lediglich gedreht. Für die vorläufige Untersuchung sollen die Bilder gerader Linien als genau geradlinig betrachtet werden.

8. Gesetz. Dann läßt sich folgendermaßen das Gesetz für die Sehgröße gewinnen (vgl. Figur 2). Der Beobachter zieht auf dem Erd-

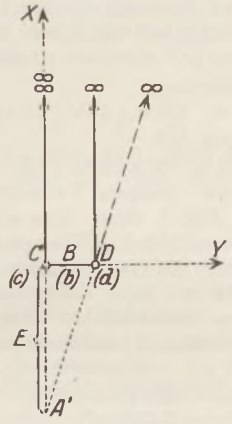


Fig. 2.

boden zwei auseinanderlaufende Geraden $C\infty$ und $D\infty$ so, daß sie gleichlaufend erscheinen, $c\infty$ und $d\infty$. Sein Standpunkt sei der Punkt $C = c$, die Blickrichtung über $C\infty = c\infty$. Die Anfangsbreite CD des divergenten Streifens heiße kurz B. Die rückwärtige Verlängerung der divergierenden Geraden $D\infty$ schneide die Länge E ab. Dann genügt die Gerade $D\infty$ der Gleichung

$$-\frac{X}{E}+\frac{Y}{B}=1.$$

Hier kann man für die wahre Ausgangsbreite B die überall gleiche Scheinbreite b einsetzen[1]) und so deuten: b gibt den Betrag an, auf den die wahre Größe Y (die Breite des divergenten Streifens) in der Entfernung X verkleinert erscheint; b ist also die Sehgröße y. Macht man $B = b = y$ aus der Gleichung frei, so erhält man die Sehgröße y in ihrer Abhängigkeit von wahrer Größe Y und wahrer Entfernung X:

1922. — Herr E. Laqueur, jetzt Prof. d. Physiologie in Amsterdam, hat die Arbeiten angeregt, zunächst mitgewirkt und mir später den Stoff überlassen, ich danke ihm auch hier herzlich.

[1]) Vgl. Nr. 32 Schluß.

[2]) In neueren wissenschaftlichen Schriften fand sich lediglich eine Erwähnung des Tellermondes bei Höfler, Didaktik der Himmelskunde, Leipzig 1913, S. 195, eine Würdigung bei v. Kries, a. a. O., S. 492 f., Messungen zahlreicher himmlischer Sehgrößen bei v. Sterneck, Der Sehraum auf Grund der Erfahrung, Leipzig 1907, S. 43 ff.

[1]) Die Verbindung liegt im Anfang, in Fußnähe ($C = c$ bzw. $D = d$). Das Gleichsetzen von Scheingröße b und wahrer Große B in Körpernähe spricht die selbstverständliche Tatsache aus, daß der Nahsehwert gleich dem Tastwerte ist, wobei eine etwaige Abweichung des Fußtastwertes von dem Handtastwerte durch Versuche zu ermitteln bleibt. (Vgl. Nr. 1 und Nr. 9.)

$$y = \frac{E \cdot Y}{E + X}. \qquad (1)$$

9. Die Festzahl E. Diese Gleichung liefert für $X = E$

$$y = {}^1/_2\, Y,$$

E bedeutet danach die Halbziffer des Kleinersehens, diejenige wahre Entfernung X, in der ein Gegenstand halb so groß aussieht, wie in Greifnähe. In Figur 2 ist das diejenige Stelle des divergenten Streifens $C\infty\ D\infty$, wo das Auseinanderlaufen den doppelten Anfangsbetrag $2B$ erreicht. Durch Messungen — auch unter Hebung der Ausgangspunkte $C = c$ und $D = d$ in Handtastnähe[1]) — findet man rund, als Durchschnittswert,

$$E \sim 22\ m.$$

10. Tafel. Danach kann man folgende Tafel für die wahre Entfernung X und das Verkleinerungsverhältnis y/Y errechnen (in runden Zahlen):

Wahre Entfernung:						
0 *m*	1 *m*	10 *m*	100 *m*	1 *km*	10 *km*	100 *km* ...
Verkleinerung auf:						
100 %	96 %	69 %	18 %	2 %	0.2 %	0.02 % ...

11. Probe. Diesem Verlaufe kommt die Kurve 3 der Fig. 1 nahe. Die schärfste Probe bildet der ferne Mond. Wie groß muß nach unserem Gesetze ein Gegenstand von der Größe 3480 *km* in der mittleren Entfernung 385080 *km* von gesunden menschlichen Augen gesehen werden? Gleichung (1) antwortet:

$$y = \frac{22 \times 3480}{385080 + 0.022}\ m'$$
$$= 0.1988\ m'$$
$$\sim 20\ cm', \text{ der Tellermond.}$$

C. Die Sehferne.

12. Himmlische Grundtatsache. Sonne, Mond und Sterne sieht man wie auf eine Fläche, den „Himmel", die Grenzfläche des räumlichen Sehens, aufgemalt. Dies ist die Grundtatsache für das Entfernungssehen, wie der Tellermond usw. die Grundtatsache für das Größensehen. Indessen zeigt sich ein einschneidender Unterschied: Die Himmelssehferne läßt sich nicht beziffern. Lediglich ein Verhältniswert findet sich: daß der Himmel abgeplattet aussieht, etwa im Verhältnis 1:2 bis 1:3. Für die Himmelssehferne selber scheint eine bezifferbare Empfindung entweder überhaupt nicht vorhanden zu sein oder unterhalb der Bewußtseinsschwelle zu liegen. — Angaben wie „10 *km*" enthüllen sich leicht als in ein anderes Gebiet gehörend, sie sind nicht Empfindungen, sondern Schätzungen.

13. Irdische Meßversuche versagen ebenso. Für die Frage: „Wie groß sieht der Kirchturm da hinten aus?" besitzt der Durchschnittsmensch sein Finger-, Nähnadel- oder Zentimetermaß. Für die Frage: „Wie weit entfernt sieht der Kirchturm aus?" besitzt er ein solches Maß unmittelbar nicht.

[1]) Nicht über Gürtelhöhe, weil von da bis zur Augenhöhe (Verdeckung!) der Sehwinkeleindruck zunehmend stört.

14. Gerade Linien. Danach bleibt für die Sehferne nur der zweite Weg übrig: Man betrachtet nicht Einzeldinge, sondern Zusammenhänge. Die Grunderfahrung von der geradlinigen Abbildung gerader Linien kann auch für die Sehferne benutzt werden.

15. Gesetz. Der Beobachter, wieder auf C stehend und längs $C\infty$ blickend, betrachtet (vgl. Fig. 3 bis 5) jetzt einen wirklichen Parallelstreifen $C\infty\ D\infty$ von der wahren Breite B.

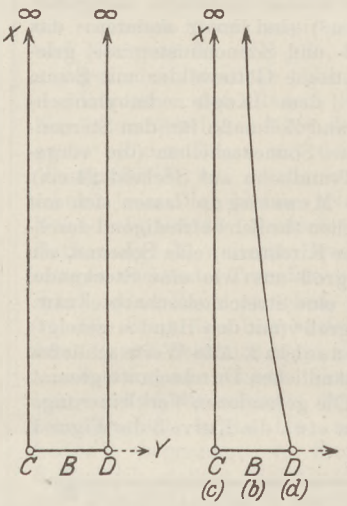


Fig. 3. Parallelstreifen, wie er wirklich ist ($C\infty$, $D\infty$).

Fig. 4. Sehgröße y allein als Funktion der wahren Entfernung X

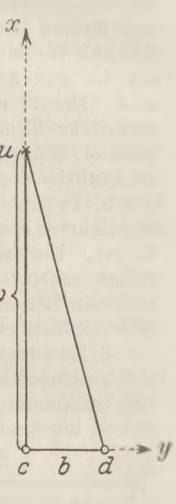


Fig. 5. Parallelstreifen, wie er aussieht (cu, du).

Nach dem Sehgrößengesetz (§ 8) sieht er den Streifen immer schmäler werden, die Scheinbreite y ist für die wahre Entfernung X

$$y = \frac{B \cdot E}{E + X},$$

sie wird durch den Hyperbelzweig dargestellt. Aber der Beobachter sieht nicht den Hyperbelzweig, sondern eine gerade Linie du. Die Entfernung cu betrage w Sehmeter, dann lautet die Gleichung der Scheingeraden du

$$\frac{x}{w} + \frac{y}{B} = 1.$$

Sie zeigt, wie die Sehgröße y mit der Sehferne x zusammenhängen muß. Schafft man aus beiden Gleichungen y heraus, so erhält man die gesuchte Abhängigkeit der Sehferne x von der wahren Entfernung X:

$$x = \frac{w \cdot X}{E + X}.$$

16. Die Festzahl w. Setzt man in dieser Gleichung $X = \infty$, so kommt

$$(x)_{X=\infty} = w,$$

w bedeutet also, wie auch Fig. 5 zeigt, die Bildferne der Unendlichkeit, die Sehferne des „Himmels". Ihr Wert bestimmt sich jetzt folgender-

maßen. In Tastnähe müssen Sehferne x und wahre Entfernung X übereinstimmen; nun ist

$$\left(\frac{x}{X}\right)_{X=0} = \frac{w}{E},$$

folglich muß $w = E$ sein. Nimmt man dazu den bei der Sehgröße (§ 9) gefundenen Wert $E \backsim 22\,m$, so gelangt man zu der überraschenden Behauptung: Das Bild der Unendlichkeit liegt in einer scheinbaren Entfernung von 22 Sehmetern.

17. Endform. Mit $w = E$ heißt das Sehfernengesetz:

$$x = \frac{E \cdot X}{E + X}. \qquad (2)$$

18. Tafel. Daraus kann man mit $E = 22\,m'$ (Sehmeter) folgende Tafel[1]) für das scheinbare Einwärtsrücken der Entfernungen berechnen:

Wahre Entfernung:	$0\,m$	$1\,m$	$10\,m$	$100\,m$	$1\,km$	$10\,km$	$100\,km$	. . . . .
Sehferne:	$0\,m'$	$0.96\,m'$	$6.86\,m'$	$18.04\,m'$	$21.53\,m'$	$21.95\,m'$	$\backsim 22\,m'$	. . . . .

19. Probe. Eine Prüfung an ganzen Entfernungen bleibt aussichtslos. Dagegen ist es möglich, Stücke von Sehfernen zu messen. Baumreihen, Säulengänge, Straßenpflaster usw. scheinen sich ungefähr nach den Verhältnissen der Tafel zusammenzuschieben.

Wirkungsvoller ist der Versuch, die Sehmeter selbst zu zeigen. Man kann aus der Sehfernengleichung (2) diejenigen wahren Entfernungen X berechnen, an denen Marken angebracht werden müßten, damit die Zwischenräume wie Meter aussehen. Folgende Doppeltafel zeigt die ungefähren Werte:

Sehferne (in m′):	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Wahre Entfernung (in m):	0	1.05	2.2	3.5	4.9	6.5	8.3	10.3	12.6	15.2	18.3	22
Zwischenstück (in m):		1.05	1.15	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	3.1	3.7

Sehferne (in m′):	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Wahre Entfernung (in m):	22	26.4	31.8	38.5	47.1	58.7	74.8	99	139.3	220	462	∞
Zwischenstück (in m):		4.4	5.4	6.7	8.6	11.6	16.1	24.2	40.3	80.7	242	∞

Man stellt auf dem Erdboden, längs der Blickrichtung, den ersten Zwischenraum auf $\sim 1.05\,m$ und gleicht die anderen nach dem Seheindruck an. Die Probe fällt, von den schwierigen letzten Sehmetern vielleicht abgesehen, befriedigend aus. Den besten Prüfstein zeigt die wahre Entfernung $X = 22\,m$, also diejenige, die schon bei der Sehgröße als „Halbziffer“ gefunden war (vgl. Nr. 9). Auf diesen Punkt stellt sich mit genügender Näherung die elfte Marke. Die Sehfernengleichung ergibt dann aus

$$E = \frac{X}{\frac{X}{x} - 1}$$

sofort für die Himmelssehferne den Wert

$$E = 22\,m'.$$

D. Der Sehraum.

20. Himmelssehferne und Gestirnssehgrößen. Stellt man mit der Himmelssehferne von $\sim 22\,m'$ die Mondsehgröße von $\sim 20\,cm'$ zusammen, so zeigt sich, daß die beiden Zahlen zu einander passen. Zeichnet man ein gleichschenkeliges Dreieck nach Art der Figur 6 mit der Spitze im Auge, so wird der Winkel an der Spitze

$$\varphi \sim \text{arc tang}\,\frac{20}{2200} = \text{arc tang}\,0.00909 \sim 31'8'',$$

d. h. fast genau gleich dem tatsächlichen mittleren Sehwinkel des Mondes. Mond-Sehferne und Mond-Sehgröße sind also ein ähnliches Abbild der wahren Mondentfernung und wahren Mondgröße. Es ist, als ob der Mond innerhalb seines Sehwinkelkegels unter ständigem Zusammenschrumpfen bis zu den Ausmaßen der Figur 6 — Größe 20 cm, Entfernung 22 m — herangerückt und in diesen Maßen von uns räumlich eingeordnet sei.

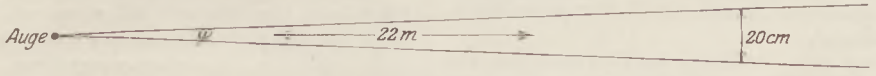


Fig. 6.

21. Die Raumbedingung. Die Gesetze für Sehferne und Sehgröße

$$x = \frac{E \cdot X}{E + X} \qquad (2)$$

$$y = \frac{E \cdot Y}{E + X} \qquad (1)$$

ergeben durch Division:

$$\frac{y}{x} = \frac{Y}{X}. \qquad (3)$$

Diese Gleichung beweist, daß alle zusammengehörigen Größen und Fernen „ähnlich“ abgebildet werden. Nimmt man dazu die Tatsache, daß 1. zur größeren Entfernung X die größere Sehferne x gehört, 2. daß x und y stetige Funktionen von X und Y sind, so ergibt sich unter den bisherigen Voraussetzungen: Alle Sehgrößen

[1]) Die Ausrechnung der Dezimalen usw. könnte hier wie in Nr. 10 und Nr. 19 wegen der Vorläufigkeit der Messungen übertrieben erscheinen; sie geschieht, um das Wesen der Abbildung zu zeigen.

und Sehfernen schließen sich zu einem räumlichen Gebilde zusammen, dem Sehraum.

22. Der Sehraum ist nach den bisherigen Ergebnissen folgendes Bild des wirklichen Raumes: Der ganze Raum ist auf den Sehstrahlen radial einwärts geschoben, jeder Gegenstand nach Größe und Ferne verkleinert gemäß den Hundertzahlen der Tafel in Nr. 10, die Einwärtsdrängung in der Nähe gering, weiterhin sehr stark wachsend bis zur Zusammenpressung eines unendlich großen Restes auf die Grenzfläche in der Sehferne 22 m' gemäß der Tafel in Nr. 18.

Kennzeichnende Größen sind 1. diese Sehraumtiefe von ~ 22 Sehmetern m', 2. die Halbziffer (Halbierungskonstante) von ebensoviel, ~ 22, wahren Metern m, wo Sehferne und Sehgröße den halben wahren Wert ($\Lambda/_2 \sim 11\ m'$ und $Y/_2$) zeigen.

Die Einheit des Sehraums (Sehzentimeter cm') ist die Einheit des Tastraums.

23. Linsenbild. Die Sehfernengleichung (2) läßt sich als Linsenformel schreiben,

$$\frac{1}{X} - \frac{1}{x} = -\frac{1}{E}.$$

Daher wird der Sehraum in seinem Verhältnis zum wahren Raume durch das Bild einer Konkavlinse mit der Brennweite — 22 m dargestellt.

24. Reliefbild. Ferner entsprechen die Sehraumgleichungen den bekannten Gleichungen der Reliefperspektive. Der Sehraum ist ein „Reliefbild“ des wahren Raumes. Die Vorderfront des Reliefs liegt in Tastnähe, die Rückwand in der Entfernung 22 m'.

Man kann die Reliefgleichungen aus der Tatsache der geradlinigen Abbildung gerader Linien sogleich im Ganzen gewinnen, doch gehen dabei die kennzeichnenden Unterschiede zwischen Sehgröße und Sehferne verloren.

25. Die Zeichenperspektive darf hiermit nicht verwechselt werden. Sie ist das Heranholen des wahren Raumes auf eine Fläche; dabei müssen ferne Gegenstände noch erheblich stärker verkleinert werden als beim Reliefbild. So erklärt sich die Schwierigkeit, die das perspektivische Zeichnen bereitet, die Neigung zum Vergrößern und Überhöhen der Ferne, vielleicht auch Eigenheiten fremder, z. B. der japanischen, Zeichenkunst.

Wenn man Größen oder Entfernungen mit dem Zeichenstifte „abgreift“, zeigt sich der Unterschied gegenüber den Sehraummaßen und -verhältnissen auffällig. Der Mond kann mit einem Finger verdeckt werden, usw.

26. Das Wohlgefallen, das manche Raumgestaltungen wecken, dürfte durch die Sehraumverhältnisse bestimmt sein. Baumeister, Raumkünstler jeder Art müssen den Sehraum zugrunde legen, Flächenkünstler müssen ihn berücksichtigen. Besonders für den Seheindruck zu beachten sind 1. der verhältnismäßig kleine Wert der Halbziffer $\sim 22\ m$, der ein außerordentliches Überwiegen des Vordergrundes bedeutet, 2. das mit der Entfernung abnehmende Verhältnis von Sehfernenstücken $\triangle x$ zu anschließenden Sehgrößen $y = \triangle y$, dessen Betrag aus den Gleichungen (1) und (2) ermittelt ($E/\{E+X\}$) und durch das „Sehquadrat“ o. ä. gemessen werden kann.

27. Empfindung, Wahrnehmung, Urteil. In die Auswertung mischen sich — nicht zum Schaden des Gesamteindruckes — Wissensbestandteile. Bei der Sehferne legt man anstatt des gewissermaßen nur differential ansprechenden Tastmaßes größere, aus der Ortsveränderung gewonnene Maße in den Raum hinein. Bei der Sehgröße kann gelegentlich, angesichts großer Gegenstände, ebenfalls das Tastmaß versagen und eine Maßstabsumprägung eintreten („haushoch“ u. dgl.). Trotz solchen Störungen empfindet man den Eindruck eines außerordentlich nahe begrenzten, reliefartigen Raumes, wenn man sich durch Fluchtlinien u. dgl. leiten läßt und sich fast stierend dem reinen Sehempfinden hingibt. Als Gegenprobe kann dienen, daß es dabei nur gegen schmerzhaften Widerstand möglich ist, das Sehbild näher heranzurücken, als die Reliefmaße bedingen.

28. Ortsveränderungen im Blickfeld erscheinen gemäß der Verkleinerung von Sehferne und Sehgröße sowohl in der Quer- wie in der Längsrichtung verlangsamt. Besonders auffällig ist das scheinbare Anschwellen gleichmäßiger, dem Beschauer entgegeneilender Bewegungen. Die Zahlwerte stimmen leidlich zu den Sehraumgleichungen. So ist die scheinbare (Dreh-) Geschwindigkeit des Himmelsgewölbes kaum wahrnehmbar, denn ihr Höchstwert ist mit $E \sim 22\ m'$ nur $\sim 1{,}7\ mm'/\text{sec}$; wäre die Himmelssehferne 10 km', so müßte die Himmelsgeschwindigkeit fast 1 m'/sek betragen. Anderseits bleiben die Ferngeschwindigkeiten im Sehraum viel größer, als den Änderungsgeschwindigkeiten der Sehwinkel entsprechen würde; holt man nämlich das Sehbild gewaltsam auf eine Fläche (leicht bestaubte Fensterscheibe) heran, so erscheinen die Verlangsamungen und Verlangsamungsunterschiede (z. B. das Anschwellen der Geschwindigkeit eines Kraftwagens) bedeutend empfindlicher als beim natürlichen Sehen.

29. Ortsveränderung des Beobachters führt dazu, den Sehraum mit einem nichteuklidischen, pseudosphärischen Raume vom Krümmungsmaße etwa $-\,{}^1/_{10000}\ m^{-3}$ zu vergleichen.

E. Ausblick.

30. Erklärungsfrage. Obwohl ganze Sehfernen als bewußte Empfindungen nicht auftreten, muß man die Sehfernen für die grundlegenden Empfindungen halten; denn die Entfernung ist für jeden Geländepunkt eine, die dort befindlichen Gegenstände können verschieden groß sein. Auch die bekannten Wirkungen von Entfernungstäuschungen sprechen mittelbar dafür. Infolgedessen muß man im Auge und seinem Zubehör Vorrichtungen suchen, die die wahren Entfernungen X für das Empfinden in Verhältniszahlen entsprechend den Sehfernenverkürzungen umsetzen; bzw. die dem Sehwinkel entsprechenden,

überstark verkürzten Netzhautbilder der wahren Entfernungen X für das Empfinden auf die Sehfernenverhältnisse auseinanderziehen. Kurz gesagt: Die Vorrichtungen müßten x statt X melden, wie die Konkavlinse des § 23. Einen anschaulichen Vergleich bietet der Einstellmaßstab und -schieber eines photographischen Apparates, wenn man sich den Zahntrieb empfindend vorstellt.

31. Erklärungsversuche. In Betracht kommen hauptsächlich:

1. Die Akkommodation. Schreibt man die Sehfernengleichung in der Form

$$\frac{1}{X}+\frac{1}{E}=\frac{1}{x},$$

so könnte man sie unmittelbar mit der Linsengleichung des Auges in Beziehung setzen — X Gegenstandsweite, E Bildweite; Linsenbrennweite x ins Empfinden übergehend —, wenn nicht für die Umsetzung von $E \backsim 22\,m$ auf den Augendurchmesser ein Zwischenglied nötig wäre, dessen physiologische Unterlage in den zugehörigen Muskeln und Nerven nicht ohne weiteres nachweisbar ist. Auch erscheint es angesichts des Baus der Augenlinse zweifelhaft, ob die Linsenformel in dieser Weise angewandt werden darf.

2. Die Konvergenz (Parallaxe). Näherungsweise mißt $1/X$ die wahre, $1/x$ die Parallaxe im Sehraum;

$$\frac{1}{x}=\frac{1}{X}+\frac{1}{E}$$

bedeutet also, daß die empfundene Parallaxe gleich der wirklichen, um eine Ballastparallaxe vermehrt, ist. Ein umrechnendes Zwischenglied würde auch hier nötig sein, um den reziproken Wert umzukehren.

3. Die Disparation scheint ähnlich verwendbar; v. Helmholtz[1]) hat bewiesen, daß die ihr wesensähnliche stereoskopische Differenz den Reliefgleichungen genügt.

4. Die Pupillenänderung kann vielleicht mittelbar beitragen, ebenso

5. Die Raddrehung der Augen; die mathematischen Möglichkeiten sind in beiden Fällen schwerer zu übersehen.

6. Der Hebungswinkel würde sicherlich ein Zwischenglied fordern; er darf aber deshalb nicht außer acht gelassen werden, weil beim Betrachten flächenperspektivisch richtig gezeichneter Bilder eine raumperspektivische Vertiefung eintreten kann.

Das Ziel aller Erklärungsversuche muß sein, die Sehraumtiefe $E \backsim 22\,m$ aus dem Bau des Auges und Zubehörs zu erklären.

32. Neuere Arbeiten. Besondere Aufklärungen verspricht die Untersuchung von Menschen, die vom Durchschnitt abweichende Augen haben, oder deren Augen künstlich in einen abweichenden Zustand versetzt werden. In diesem Sinne hat Herr Horovitz[2]) die Erscheinungen der Mikropsie, Makropsie und verwandte untersucht. Dabei kommt u. a. eine Verlegung der Vorderfront des Raumreliefs in Frage. Es ist zu wünschen, daß diese Arbeiten fortgesetzt werden.

Herr Mohorovičić hat vergeblich[1]) versucht, dem Mangel abzuhelfen, daß bisher die Entfernungen x und X wagerecht auf dem Erdboden, von den Füßen ab, gezählt wurden, anstatt vom Auge. Diese Schwierigkeit zu beheben, ist deshalb nicht ganz leicht, weil drei andere damit zusammenhängen: 1. Die bevorzugte Rolle, die die Erdoberfläche tatsächlich spielt, 2. Der Einfluß der Augenhöhe, 3. Die Ausnahmebedeutung der Blickrichtung geradeaus, wegen der Verdeckungen.

Herr Jäckel hat versucht, die Sehraumgrenze bei dem Versagen der monokularen Tiefenschärfe zu ziehen. Das erscheint schon deshalb unmöglich, weil die letztere Stelle im Auge durch kein Zeichen bemerklich wird. Auch entspricht es nicht dem Wesen der sehräumlichen Abbildung, die bildliche Verlegung der Unendlichkeit auf eine endliche Seh-Entfernung x durch Eigentümlichkeiten einer gleichbezifferten wahren Entfernung X erklären zu wollen[2]).

Herr A. Müller leugnet, offenbar infolge abweichender Beschaffenheit seines Augensystems, das Vorhandensein einer in Längenmaßen ausdrückbaren Sehgröße schlechthin[3]).

33. Hoffnungen. Den ganzen bisherigen Entwickelungen liegt die Annahme zu Grunde (§ 7 und § 14), daß gerade Linien gerade erscheinen. Beobachtung und Rechnung müssen zusammen wirken, um die Lehre in diesem Betracht zu verfeinern und insbesondere die vorläufig bestimmte Sehraumtiefe E genauer festzulegen.

Die eingehenden Messungen v. Sternecks[4]) über „Referenzflächen der Gestirne“ lassen den

[1]) a. a. O. (vgl. oben Nr. 2), S. 270 ff.

[2]) Horovitz, Beiträge zur Theorie des Sehraums, Sitzungsberichte der Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Klasse, Abt. 2a, **130**, 7, S. 405; Größenwahrnehmung und Sehraumrelief, Pflügers Archiv **194**, 629, 1922.

[1]) Mohorovičić, Ein Beitrag zur Theorie des Sehraums, Physik. Zeitschr. **21**, S. 515, 1920; Herr Mohorovičić legt die Zeichenperspektive zugrunde (vgl. oben Nr. 25); ähnlich Hr. Geipel, ebenda **21**, S. 169, 1920.

[2]) Jäckel, Physik. Zeitschr. **21**, S. 262, 1920. — Beide Bemerkungen müßten auch für Herrn Horovitz' Erwägungen über binokulares Sehen berücksichtigt werden, a. a. O.

[3]) A. Müller, Die Referenzflächen des Himmels und der Gestirne, Braunschweig, Vieweg 1918; Über eine physiologische Erklärung der Referenzflächen der Gestirne, Phys. Zeitschr. 21, S. 497, S. 1920. — Herr Müller gebraucht daher den Begriff „Referenzfläche“ nicht sinngemäß. „Referenzfläche“ ist die „Bezugsfläche“, auf die der Mensch unbewußt den Mond usw. verlegt; Hr. Müller hält sie nur für eine Rechengröße in beliebigem Maßstab.

[4]) v. Sterneck, a. a. O. (vgl. oben Nr. 4).

Schluß zu, daß die Sehraumgrenze von Beleuchtung und anderen Einflüssen abhängt. Zusammenhängende Durchprüfung dieser Umstände wird zeigen, wie weit solche Einflüsse in die Sehraumgesetze selber eingehen können.

Die Hauptaufgabe bleibt, die bisher wesentlich eindimensional gefaßten Gesetze auf den dreidimensionalen Raum zu erweitern. Seit dem Altertum harrt hier die scheinbare Abflachung des Himmelsgewölbes und die scheinbare Verkleinerung der Gestirne zum Zenit hin der endgültigen Enträtselung. Vorversuche mit dem „Sehwürfel" als räumlicher Einheit des Sehraums, mit schräg aufwärts gezogenen Parallelen und Scheinparallelen„ u. a. m., scheinen [1]) zu zeigen, daß der Sehraum selber anisotrop ist, die Verkürzungen scheinen mit der Blickhebung zu wachsen [2]). Abgeschlossen würde die Lehre, wenn es gelänge, auch diese Anisotropie des Sehraums aus dem Bau des Auges und seines Zubehörs zu erklären.

[1]) Unter erweiternder Bestätigung der Spiegelversuche von Filehne (Pflügers Archiv 59, S. 279, 1895) und Zoth (ebd. 78, S. 363, 1899 und 88, S. 201, 1902).

[2]) Diese neuen Versuche durften sich noch der gelegentlichen Mitwirkung des jüngst entschlafenen Professors Dr. Hans Geitel erfreuen. Der hochverehrte Forscher hat die sämtlichen Sehraumarbeiten mit reger Anteilnahme verfolgt und zuletzt noch eine sorgfältige Korrektur dieses Berichtes gelesen. Ich rufe ihm auch hier ein herzliches Wort des Dankes nach. (Anm. bei der 2. Revision.)

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in die theoretische Physik. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von Arthur Haas, a. o. Prof. a. d. Universität Wien. 3. u. 4. völlig umgearb. und verm. Auflage. I. Band. Mit 58 Abb. im Text. 307 S. Berlin u. Leipzig, 1923. W. de Gruyter & Co. GZ. 7,5.

Die schon an der ersten Auflage *(d. Zeitschr. 32, 140; 34, 286)* hervorgehobenen Vorzüge des Buches treten in dieser Neubearbeitung noch schärfer hervor. Noch mehr als zuvor sind die rein mathematischen Entwicklungen von den eigentlich physikalischen getrennt, so daß die letzteren in ihrem Aufbau einfacher und durchsichtiger werden, und im besonderen der Leser durchschauen kann „welche Zusammenhänge rein mathematischer Natur sind und welche nur unter Zuhilfenahme physikalischer Erfahrungstatsachen hergestellt werden können". Auch erspart dies Verfahren überflüssige Wiederholungen analoger Gedankengänge in verschiedenen Zweigen der Physik. Ein weiterer Vorzug ist die scharfe Scheidung zwischen den physikalischen Erkenntnissen, die unabhängig von atomistischen Hypothesen gewonnen werden können, und der eigentlich atomistischen Physik. In dem Bande ist die Mechanik nebst allgemeiner Theorie der Vektorfelder, Schwingungen und Potentiale, sowie die Theorie des elektromagnetischen Feldes und des Lichtes behandelt. Schon diese Überschriften deuten die Kraft der Zusammenfassung an, die dem Buche seinen eigenartigen Wert verleiht. Neu hinzugekommen sind: Wurfbewegung, Pendelbewegung, Bewegungsvorgänge auf der rotierenden Erde, physisches Pendel, ideale Flüssigkeit, elastisches Medium, elastische Wellen, Selbstinduktion, Lichtintensität, ultrarote und ultraviolette Strahlen. *P.*

Raum, Zeit und Schwere. Ein Umriß der allgemeinen Relativitätstheorie. Von A. S. Eddington. Ins Deutsche übertragen von W. Gordon. Mit 19 Abbildungen. 204 S. (Die Wissenschaft, Bd. 70). Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn A.G., 1923. G.Z. 6,50, geb. 8.

Das Buch ist das Grundbuch (Standard book) der Relativitätstheorie in England. Der Verfasser spricht an einer Stelle von dem Gegensatz seines Weges zu dem der „kontinentalen Relativisten" und sieht den Hauptunterschied in der Stellung zum Kausalprinzip bzw. in der Rolle, die die Materie im Gesamtaufbau der Theorie spielt. Für ihn sind die Eigenschaften der Materie Folgerungen aus der Weltgeometrie, die Gesetze der Erhaltung der Energie und des Impulses in der Mechanik sind ihm aus dem Gesetz der „Weltkrümmung" ableitbar. Auch in betreff der Gestalt des vierdimensionalen Raumes nimmt der Verfasser einen von Einstein abweichenden Standpunkt ein, er sieht ihn nicht als zylindrisch gekrümmt, sondern als sphärisch an, derart daß Kugelflächen in diesem Raum sich bis zu einem Maximum ausdehnen und dann wieder bis zu einem Punkt zusammenziehen. Diese Vorstellung schafft ihm die Möglichkeit, mit der Schwierigkeit fertig zu werden, daß bei relativistischer Auffassung der Rotation eines Weltkörpers die Geschwindigkeit der im Umschwung gedachten Fixsternwelten unendlich groß wird.

Die Darstellung des hervorragenden Astronomen ist für Leser ohne fachwissenschaftliche Vorkenntnisse bestimmt, ohne indessen populär zu sein, und erschließt ihre Eigenart doch erst dem mit den einschlägigen Fragen bereits Vertrauten. Die ersten neun Kapitel behandeln in anschaulichen, mit treffenden Vergleichen durchsetzten Ausführungen die im wesentlichen anerkannten Grundzüge der Theorie. Auch die experimentellen Prüfungen werden erörtert; der Verfasser sieht den Beweis für die Ablenkung der Lichtstrahlen am Sonnenrand durch die Messungen vom 29. Mai 1919, an denen er selbst beteiligt war, für erbracht an, ebenso den Beweis aus der Bewegung des Perihels der Merkursbahn, nur die Rotverschiebung der Spektrallinien läßt nach ihm noch Zweifeln Raum. In einem eigenen

Kapitel wird dann die Beziehung von Elektrizität und Schwere unter Bezugnahme auf WEYLS Untersuchungen dargelegt, denen der Verfasser zustimmt, obwohl bisher noch keine experimentelle Prüfung in Vorschlag gebracht sei. Ein Schlußkapitel „über die Natur der Dinge" beschäftigt sich mit Spekulationen darüber, wie weit die Gesetze, die wir in der Welt als gültig erkannt haben, aus dem menschlichen Geiste stammen, und wie weit sie einen davon unabhängigen Ursprung haben, eine alte Frage der Philosophie, die hier in neuer Beleuchtung erscheint. *P.*

Die philosophischen Probleme der Einsteinschen Relativitätstheorie. (Vorlesung an der Univ. Bonn.) Von ALOYS MÜLLER. 2. umgearbeitete u. erweiterte Aufl. des Buches: Das Problem des absoluten Raumes. („Die Wissenschaft", Bd. 39, F. Vieweg u. Sohn, Braunschweig 1922). VII u. 224 S., G.Z. geh. 7,50.

Das vorliegende Buch des scharfsinnigen Bonner Gelehrten ist vielleicht weniger bedeutsam durch das Resultat seiner Kritik an der R. Th. als durch die klare, eindringende Art, an die Probleme heranzutreten und Kritik zu üben. Eine große Zahl philosophischer Fragen wird behandelt, und überall freut man sich über die klare, geschickte Darstellung, die auch dem Nichtphilosophen einen Weg zum Verständnis weist. Der Einwand des Verf. richtet sich gegen das Konstanzprinzip, in dem er eine Willkürannahme sieht und das in der Ausführung der Theorie zu Widersprüchen führt. Die R. Th. gibt nur die Antwort auf die Frage, wie sich die Naturvorgänge abspielen würden, wenn das Konstanzprinzip gälte! — Wollte man diese Auffassung widerlegen, so müßte man die ganze R. Th. noch einmal in ihren Grundzügen entwickeln. Hier sei nur das eine gesagt: nicht der Michelsonversuch ist — wie der Verf. angibt — die Grundlage der Theorie, sondern der Widerspruch zwischen dem Ergebnis dieses Versuches und des Fizeauschen führt unter Berücksichtigung der Beobachtungen de Sitters zu den Einsteinschen Postulaten, von denen das Konstanzprinzip allerdings völlig unanschaulich ist. — Besonders wertvoll an dem Buch sind die philosophischen Ergebnisse. Daß es sich in der R. Th. nicht um die „wirkliche" Zeit, sondern um eine Messungszeit handelt, daß der Begriff der Gleichzeitigkeit nicht durch die Angabe der Methode erschöpft ist, durch die man sie feststellen kann, daß der Raum nicht ein Zahlenkomplex ist, kurz, daß die R. Th. nicht eigentlich neue, umstürzende philosophische Einsichten gebracht hat: das sind einige Sätze, die nicht oft genug wiederholt werden können und um deretwillen man dem lesenswerten Buch auch in der neuen Form neue Freunde wünschen kann. *S.*

Die Stellung der Relativitätstheorie in der geistigen Entwicklung der Menschheit. Von J. PETZOLDT. 2. verbesserte und vermehrte Auflage. (J. A. Barth, Leipzig 1923. VII u. 98 S.) G.Z. 2,7, geb. 4.

Rein historisch betrachtet kann der Positivismus Machscher Färbung — und damit der Verf. als sein Hauptvertreter in Deutschland — mit gutem Recht die Relativitätstheorie für sich in Anspruch nehmen. EINSTEIN ist durch MACHS Gedanken angeregt und in einer Atmosphäre wissenschaftlichen Denkens groß geworden, die durch die positivistische Grundeinstellung bedingt war. Auch ist kein Zweifel, daß die Ergebnisse der Relativitätstheorie mit der Erkenntnislehre MACHS und PETZOLDTS verträglich sind. Wenn man also trotzdem anderer Meinung über die Stellung der Theorie in der Entwicklung des menschlichen Denkens sein kann, so muß das in einer prinzipiell andern Auffassung vom Wesen des Erkennens begründet sein. In diesem Punkte — ob nämlich das Erkennen seiner Geltung, nicht seinem Dasein und seinem Entstehen nach, biologisch-psychologisch oder logisch zu begründen ist — und nicht in der Stellung zum metaphysischen „Ding"problem, wie der Verf. es darstellt, scheiden sich die Geister. Wer die biologische Seite hören will, möge zu PETZOLDTS Buch greifen: er wird in ihm eine klare, umfassende Darstellung finden, die den Relativitätsgedanken von PROTAGORAS bis EINSTEIN verfolgt, anderseits aber auch an allen Stellen, wo der Verf. auf Begriffe und Begriffsysteme zu sprechen kommt, zeigt, daß wohl die psychologische Seite der Begriffsbildung, nicht aber der Sinn des Begriffs vom Positivismus voll gewürdigt wird. *S.*

Das Problem des absoluten Raumes. Von Dr. HUGO DINGLER, a. o. Prof. a. d. Univ. München. (S. Hirzel, Leipzig 1923, 50 S.).

Das Heft ist ein Sonderabdruck der gleichnamigen Arbeit des Verf. aus dem „Jahrbuch d. Radioaktivität und Elektronik" 1922, Heft 3. Es gibt eine kritische Darstellung der NEWTONschen Auffassung von den Grundlagen der Mechanik und setzt sich dabei besonders mit MACH und dem Empirismus auseinander. Im Gegensatz zu anderen Forschern betont DINGLER, daß für NEWTON die Notwendigkeit des absoluten Raumes als eines letzten Bezugssystems nicht nur ein metaphysisches Bedürfnis war, sondern daß er auch in den logisch-methodologischen Sinn des absoluten Raumes eine klare Einsicht gehabt hat. Sein Fehler bestand nur darin, daß er sein Fundamentalkoordinatensystem in einem — ihm allerdings unbekannten — Körper verankert glaubte, während nach DINGLER hierzu die Gesamtheit der uns zugänglichen Körper herangezogen werden muß, um so durch „Exhaustion" immer genauer jenes System zu bestimmen. *S.*

Das Korrespondenzprinzip. Von Dr. EBERHARD BUCHWALD. (Sammlung Vieweg, Bd. 67.) Mit 28 Abbildungen. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn A.G., 1923. 127 S. GZ. 5,50.

Die Schrift schließt sich an die Untersuchungen von NIELS BOHR und ARNOLD SOMMER-

FELD über den Atombau an und setzt völlige Vertrautheit mit diesen voraus. Das Korrespondenz- oder Analogieprinzip besteht in einer Methode, die Ergebnisse der klassischen Elektrodynamik auf die quantentheoretische Betrachtung zu übertragen, wobei es namentlich auf die Beziehung zwischen den ausgesandten Schwingungszahlen und den am Atom haftenden Schwingungs- oder Umlaufszahlen ankommt. Im einzelnen handelt es sich um den harmonischen und unharmonischen Oszillator, Ober- und Kombinationstöne, die Keplerellipse, den Zeeman- und Starkeffekt, Fourierdarstellung und Feinstruktur, höhere Atome, die Molekel als Rotator und als symmetrischer Kreisel. *P.*

Atom- und Quantentheorie. Von P. KIRCHBERGER. (Mathematisch-physikalische Bibliothek, Bd. 44 und 45.) I. Atomtheorie. 49 S. Mit 5 Fig. II. Quantentheorie. 52 S. Mit 11 Fig. Leipzig, B. G. Teubner, 1923. GZ. je 0,70.

Der Verfasser gibt mit der ihm eigenen Klarheit einen gedrängten Abriß der beiden Theorien und geht namentlich im II. Teil in bezug auf die experimentelle Seite des Gegenstandes erheblich über seine frühere Schrift, „Die Entwicklung der Atomtheorie" *(d. Zeitschr. 35, 196)*, hinaus. Als besonders gelungen erscheint die Darstellung des Gedankengangs MAX PLANCKS, die den Zusammenhang zwischen Atom- und Quantentheorie klarlegt. *P.*

Konstanten der Atomphysik. Von W. A. ROTH, K. SCHEEL und E. REGENER. Berlin, Julius Springer, 1923. 114 S. Geb. 8 Goldmark.

Dieser Teildruck aus dem großen Tabellenwerk von LANDOLT-BÖRNSTEIN-ROTH-SCHEEL kommt dem Wunsche vieler Physiker und Chemiker entgegen, mit dem geringsten Kostenaufwand eine zuverlässige Zusammenstellung all der Zahlenwerte zu haben, die in der modernen Atomphysik, die doch im Vordergrund der Forschung steht, gebraucht werden. So finden wir in diesem ausgezeichnet ausgestatteten Band von 114 Seiten auf 32 Tabellen nächst den Atomgewichten für 1923 und dem periodischen System der Elemente mannigfache Daten über Isotopengemische, radioaktive Elemente und Isotope, deren Wärmewirkung, Altersbestimmung der Mineralien, Werte der Lichtgeschwindigkeit, Loschmidtsche Zahl, Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle, minimale Schichtdicken, elektrisches Elementarquantum, elektrochemisches Äquivalent, spezifische Ladung des Elektrons, Plancksches Wirkungselement (das besser Wirkungsquantum genannt würde), Strahlungskonstanten, Wellenlängen aller Art, Serienspektren einiger Elemente, Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe, Zahlenwerte der Terme der Spektralserien, Absorption und Zerstreuung der Röntgenstrahlen, Kristallstrukturen, Ionenbeweglichkeit, Diffusionskoeffizient der Ionen in Gasen, Entladungsspannungen in Gasen, Kathodengefälle der Glimmentladung, Durchgang der Elektronen durch Materie und über die lichtelektrische Wirkung. Wie das ganze rühmlichst bekannte Tabellenwerk, das nunmehr in 5. Auflage vorliegt, sind auch die hier vereinigten Tabellen von größter Genauigkeit und mit kritischem Blick zusammengestellt in einer Reichhaltigkeit, wie man sie sich als Auszug nicht besser wünschen kann. Mögen die großen Opfer des Verlags durch recht zahlreiche Abnahme der Tabellen wenigstens etwas belohnt werden.

A. Wenzel.

Lehrbuch der Physik. Von E. GRIMSEHL. Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. I. Band: Mechanik, Wärmelehre, Akustik und Optik. 6. vermehrte und verbesserte Auflage, herausgegeben von W. Hillers unter Mitarbeit von H. Starke. Mit 1690 Figuren im Text und 2 farbigen Tafeln. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin, 1923. 1142 S. G.Z. 16,70, geb. 18,90.

Eine tiefgreifende Änderung hat diese Auflage, die der vorigen rasch gefolgt ist, durch eine eingehende Darstellung der neuzeitlichen Anschauungen über den Bewegungswiderstand in Flüssigkeiten und in Luft erfahren. Die Darstellung dieser auf Forschungen von KUTTA, JOUKOWSKI und PRANDTL fußenden Anschauungen hat nicht weniger als acht neue Paragraphen erfordert, in denen Potentialströmung, Drehströmung, Stromlinien, Stromfäden und Drucke in wirklichen Flüssigkeiten sowie dynamischer Druck und Auftrieb, und im Anschluß daran Windräder, Luftschrauben, lenkbare Luftschiffe, Flugbewegungen und Flugzeuge behandelt werden. Dazu gesellt sich eine große Zahl von sonstigen Erweiterungen und Verbesserungen, die von dem unermüdlichen Streben des Herausgebers, das Buch auf wissenschaftlicher Höhe zu erhalten, Zeugnis ablegen. Der Umfang ist infolgedessen trotz einzelner Kürzungen um etwa sechs Druckbogen vermehrt worden und übersteigt schon fast die Grenzen eines Bandes. Das Buch, ein dauerndes Ehrendenkmal des unvergeßlichen Verfassers, wird auch in dieser neuen Gestalt Freunde und — Käufer finden. *P.*

Grundzüge der Festigkeitslehre. Von AUG. und OTTO FÖPPL. Mit 141 Abb. im Text und auf einer Tafel. (Teubners technische Leitfäden, Bd. 17). 290 S. Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1923. GZ. —

Das Buch ist für den praktischen Ingenieur bestimmt und will dessen theoretische Kenntnisse erweitern und vertiefen; es nimmt vielfach auf praktische Fragen Bezug, gewinnt aber eben hierdurch auch für den Theoretiker besonderes Interesse. Alle Gedankengänge, die der Festigkeitslehre eigentümlich sind, werden von Grund aus neu entwickelt. Ausführlich behandelt ist die Umdrehungslehre und die Lehre von der Rißbildung, wobei namentlich auch auf die Ursachen der Rißbildung bei Schwingungsbean-

spruchung und auf die Fortschreitungsgeschwindigkeit von Rissen eingegangen wird. *P.*

Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie. Von Carl Pulfrich. 94 Seiten. 32 Abbild. Berlin, Julius Springer, 1923. 3,60 Goldmark.

Es vergeht eine kleine Zeit, bis das auffallende Licht die Netzhaut erregt und diese Zeit ist von der Stärke des Lichtes abhängig. Betrachtet man einen bewegten Gegenstand mit beiden Augen und ist das Bild für ein Auge aus irgend einem Grunde dunkler als für das andere, so entsprechen die als gleichzeitig aufgefaßten Bilder zwei verschiedenen Bahnorten. Der Gegenstand scheint infolgedessen an einem dritten außerhalb der wirklichen Bahn liegenden Orte sich zu befinden. Pulfrich gibt dafür einen einfachen Versuch an: Man fährt mit der Bleistiftspitze auf der Fensterscheibe hin und her und betrachtet dabei die Bleistiftspitze mit beiden Augen, hält aber vor eins von beiden ein leicht berußtes Glas. Man sieht dann die Spitze beim Hinweg vor, beim Rückweg hinter der Glasscheibe und diese Abweichung von der wahren Bahn kann sehr groß werden.

Die Erscheinung trat zuerst als Störung beim Arbeiten mit dem Stereoautographen hervor. Dieses Gerät zeichnet unmittelbar die Schichtenlinien einer Karte auf, während der Beobachter nach dem Anblick des Stereophotogrammes im Stereokomparator Linien gleichbleibender Höhe abfährt. Putfrich, der selbst seit 16 Jahren auf einem Auge blind ist, erkannte, daß, was hier als Störung auftrat, zur Grundlage eines Verfahrens zur Helligkeitsmessung gemacht werden konnte und er hatte die Freude von den nach seiner Weisung arbeitenden Beobachtern zu hören, daß seine Voraussage sich bestätigte, daß eine hohe Meßgenauigkeit erreicht und sogar die Helligkeitsmessung verschiedenfarbiger Lichter mit einer bisher nicht erreichten Sicherheit bewältigt wurde.

Das sehr lesenswerte Büchlein schildert die physiologischen Grundlagen des Verfahrens und eine gro e Anzahl der verschiedenartigsten Anwendungen. Zahlreiche Apparate sind so weit entwickelt, daß damit bereits wertvolle Messungen gemacht werden konnten. Pulfrich überläßt mit diesem Buche den Fachgenossen ein weites Arbeitsgebiet zur weiteren Durcharbeitung und nimmt Abschied von diesen Messungen, „an denen er sich nur noch als einäugiger Zuschauer beteiligen kann“. *W. Vn.*

Einführung in die Mathematik für Biologen und Chemiker von Leonor Michaelis, a. o. Prof. an der Univ. Berlin. Zweite erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 117 Textabbildungen. Berlin, J. Springer, 1922. VI. + 318 S. 9 Goldmark.

Die Anlage des Buches ist gegen die erste Auflage (1912) nicht verändert: praktische, nicht strenge Mathematik wird geboten. Neu ist eine kurze Anweisung, mit dem Rechenschieber zu arbeiten. Der Abschnitt über die Fourierschen Reihen ist wesentlich erweitert; willkommen ist der neue Anhang: Anleitung zur mathematischen Darstellung einer Funktion. Vor allem aber wird auf etwa 50 Seiten die Wahrscheinlichkeits- und Fehlerrechnung behandelt, die für die Grundlagen der Chemie und bei biologischen Serienarbeiten gleich wichtig geworden ist. — Das Buch ist in seiner neuen Auflage ein noch besseres Hilfsmittel geworden, als es in der ersten war. — Der Ref., der seit Jahren „Mathematik für Chemiker“ liest, hat das Buch vielfach benutzt. Nach seinem Gefühl sind aber mehr Anwendungsbeispiele der Differential- und Integralrechnung (mit Angabe der Versuchsanordnung und der Experimentaldaten) zur Einführung wichtiger als z. B. das lange Kapitel über Funktionenlehre. Man kann zum Eingang bei Chemikern nicht handgreiflich genug sein, und bei den meist von der Medizin herkommenden Biologen wird der horror matheseos, der bis zur Idiosynkrasie ausartet, nicht geringer sein! Vielleicht kann das Buch in einer dritten Auflage noch mehr nach der Richtung ausgebaut, frischer „durchblutet“ werden. *W. Roth, Braunschweig.*

Elektrotechnische Meßinstrumente. Ein Leitfaden von Konrad Gruhn, Oberingenieur und Gewerbestudienrat. 2. verm. u. verb. Auflage. Mit 321 Textabbildungen. Berlin, Julius Springer, 1923. 723 S. Geb. 5,80 Goldmark.

Das Buch ist aus der Lehrtätigkeit des Verfassers an der elektrotechnischen Lehranstalt des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. hervorgegangen, es wendet sich nicht nur an Studierende, sondern an alle, die mit elektrotechnischen Meßinstrumenten umzugehen haben und will vor allem das Grundsätzliche an diesen herausarbeiten. Bei jedem Instrument werden Bau und Verwendbarkeit, Fehlerquellen und Genauigkeit besprochen, auch hier und da Rechenbeispiele beigegeben. Nächst den üblichen Messern für die drei Stromarten sind auch Frequenzmesser, Synchronismuszeiger und Meßtransformatoren (Meßwandler) behandelt; letztere haben den Zweck, in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen die Meßinstrumente von der gefährlichen Hochspannung abzutrennen oder aber die Meßbereiche der Instrumente zu erweitern. *P.*

Anleitungen zum Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium. Von E. Orlich. Erster Teil. Mit 74 Textbildern. Berlin, Julius Springer, 1923. 96 S. 2 Goldmark.

Das Schriftchen ist für den Gebrauch im Anfängerkursus bestimmt, der in der Regel im vierten Semester stattfindet, nachdem die Vorlesungen über Grundlagen der Elektrotechnik und über elektrotechnische Meßkunde vorangegangen sind. Die Anleitungen sind auf die besonderen im Berliner Laboratorium vorhandenen Hilfsmittel zugeschnitten, die allgemeinen Hinweise für das praktische Arbeiten sind aber auch darüber hinaus, namentlich auch für die Leiter

von praktischen Übungen an höheren Schulen, nicht ohne Interesse. Einzelne Aufgaben, wie die Abschmelzversuche an Drähten und die Bestimmung des Wirkungsgrades eines elektrisch beheizten Kochtopfes sind vielleicht auch als Schulversuche verwendbar. *P.*

Die Chemie und das moderne Leben. Von Svante Arrhenius. Autorisierte deutsche Ausgabe von Dr. B. Finkelstein. Mit 20 Abb. Akad. Verl. Ges. 1922. Leipzig. XII u. 373 S.

Von der Bedeutung der Chemie im Weltkriege ausgehend, wird ein treffliches Gesamtbild der chemischen Wissenschaft und Technik entworfen in einer volkstümlichen Art, die mehrfach an die edle Darstellungsweise Liebigs erinnert. Von hoher Warte aus wird die geschichtliche Entwicklung der chemischen Einsichten gründlich verfolgt, dennoch möchten wir den Abschnitten, die das Eingreifen der Chemie in die allgemeine kulturelle Entwicklung der Menschheit schildern und die z. B. den „Kulturwert der Kieselsäure“ (Ton, Glas usw.), „Farbstoffe, Riechstoffe und Arzneimittel, die Chemie und die Brotfrage, das Haushalten mit den Naturschätzen“ behandeln, einen noch höheren Wert zusprechen. In historischer Hinsicht ist lobend hervorzuheben die Bemerkung, daß Lavoisier „durchaus nicht als der Entdecker des Sauerstoffs bezeichnet werden darf“, wie es öfters geschieht (weil es nämlich L. selbst von sich behauptet); andererseits sind einige Ungenauigkeiten unterlaufen, z. B. bezog sich der Ausdruck „brennbare Luft“ auf den Wasserstoff und nicht auf den Sauerstoff (S. 28). Es ist ein eigenartiger Reiz, die Chemie gerade vom schwedischen Standpunkt aus betrachtet zu sehen; überall leuchtet strenge Objektivität hervor, nur die Stellungnahme Deutschland gegenüber hinsichtlich der Ursachen des Weltkrieges (S. 343) müssen wir als verfehlt bezeichnen und lebhaft bedauern. Der Verfasser hat das Buch geschrieben, um bei seinen Landsleuten das Interesse für die Chemie, als für „die Wissenschaft, die mehr als jede andere der gegenwärtigen materiellen Kultur zugrunde liegt“, zu wecken und das schwedische Volk von der Notwendigkeit zu überzeugen, die Entwicklung der einheimischen chemischen Industrie zu beschleunigen. Man kann aber das Buch ebenso gut für uns, für die Schwesternation, geschrieben denken, besonders für die vielen, die die Bedeutung der Chemie in wirtschaftlicher und in individueller Beziehung überhaupt noch nicht begriffen haben. In jeder Hinsicht ist dem Buch ein großer Erfolg zu wünschen. *O. Ohmann.*

Praktikum der physikalischen Chemie, insbesondere der Kolloidchemie. Von Dr. med. L. Michaelis, a. o. Prof. a. d. Univ. Berlin. 2. verb. Aufl. Mit 40 Abb. Berlin, J. Springer, 1922. 183 S. 5 Goldmark.

Das für Mediziner und Biologen bestimmte Praktikum wurde bereits in dieser Zeitschr. (*35, 242*) eingehender gewürdigt. Das schnelle Erscheinen der wenig veränderten zweiten Auflage bestätigt seine Brauchbarkeit. Ein Sachregister ist noch nicht hinzugefügt. *O.*

Kolloidchemie der Gegenwart. Sonderheft der Kolloid-Ztschr. Bd. 31, Heft 5. Die Gründung der Kolloid-Gesellschaft. Herausgegeben von Prof. Dr. Wolfgang Ostwald. 106 S. 4,32 M.

Das Sonderheft gibt nicht nur ein genaues Bild von dem sehr interessanten Verlauf der von Wo. Ostwald vorbildlich geleiteten Gründungsversammlung, sondern enthält als Hauptsache noch 26 Vorträge, die von namhaften Vertretern der Wissenschaft und Technik auf der ersten Tagung gehalten wurden. Alle Vorträge verfolgen das gemeinsame Ziel: Die Beziehungen des von jedem Redner vertretenen Gebietes zur Kolloidchemie näher zu kennzeichnen. So behandelten z. B. F. Ehrenhaft (Wien): Die Physik kolloider Teilchen, H. Freundlich (Dahlem): Kapillarchemie und Kolloidchemie, K. Schaum (Gießen): Kolloidchemie und Photochemie, V. Kohlschütter (Bern): K. u. Elektrochemie, A. Schmauß (München): K. u. Meteorologie, F. Rinne (Leipzig): K. u. Mineralogie, G. Wiegner (Zürich): K. u. Agrikulturchemie, E. Abderhalden (Halle): K. u. Physiologie, H. Schade (Kiel): K. u. innere Medizin, H. Lüers (München): K. u. Lebensmittelchemie, R. Haller (Großenhain): K. u. Färberei, E. Stiasny (Darmstadt): K. u. Gerberei, Lüppo-Cramer (Schweinfurt): Demonstration photographisch-kolloidchemischer Präparate. Aus allem vermag auch der naturwissenschaftliche Unterricht die mannigfaltigsten Anregungen zu schöpfen. So bietet die Schrift ungefähr einen Niederschlag der wichtigsten bisherigen Leistungen der Kolloidchemie und gibt vielfach auch die Richtlinien für ihre weitere Entwicklung an. Das Heft verdient die weiteste Verbreitung, es ist zugleich das beste Werbemittel, um der Kolloidchemie neue Freunde zuzuführen. *O. Ohmann.*

Grundbegriffe der Kolloidchemie und ihre Anwendungen in Biologie und Medizin. Einführende Vorlesungen von Dr. H. Handovsky, Privatdoz. a. d. Univ. Göttingen. Mit 6 Abb. Berlin, J. Springer, 1923, 63 S. 2,20 Goldmark.

Die klar und leicht verständlich abgefaßte Schrift ist eine vortreffliche, besonders für den Biologen geeignete Einführung in das relativ neue Gebiet. Sie behandelt zunächst einige allgemeine Begriffe und grundlegende Erscheinungen, dann die Kolloidchemie der Eiweißkörper, der Zellen und Gewebe, die elektrischen Vorgänge in der Zelle u. a. Mathematisch nicht zutreffend ist der Ausdruck, daß bei Zerteilung einer Masse „die Oberfläche schneller zunimmt als die Zahl der Teilchen“ (S. 3). Bei nicht eindeutigen Wortzusammensetzungen (z. B. Wasserstoffwechsel S. 40) sollte man viel allgemeiner als es jetzt üblich ist, die Trennung (in diesem Falle Wasser-Stoffwechsel) bevorzugen. Durch

ein ausführliches „Sachverzeichnis“ würde die Schrift bei ihrem reichen Inhalt noch mehr gewinnen. Die wertvolle Schrift ist auch zur Berücksichtigung im biologischen Unterricht ganz besonders zu empfehlen. *O. Ohmann.*

Anorganische Chemie. Ein Lehrbuch zum Weiterstudium und zum Handgebrauch. Von Dr. F. EPHRAIM, Prof. a. d. Univ. Bern. 2. u. 3. verb. Aufl. Mit 55 Abb. u. 3 Taf. Dresden u. Leipzig, Th. Steinkopff, 1923. 742 S. G.Z. 10, geb. 12.

Der allgemeine Charakter des Buches wurde bereits in ds. Ztschr. (36, 138) näher gekennzeichnet. Das mit wissenschaftlicher Gründlichkeit gearbeitete Lehrbuch wendet sich an den Fortgeschrittenen und ist hauptsächlich für den Fachchemiker geeignet. Da wir es hier im wesentlichen vom Standpunkt des chemischen Schulunterrichts aus zu beurteilen haben, so dürfen einige Punkte nicht übergangen werden. Man wird in dem Buche nach bestimmten, die Darstellung sonst so belebenden Versuchsanordnungen an der Hand instruktiver Abbildungen vergeblich suchen. Die wenigen Abbildungen sind fast nur schematischer oder graphischer Natur (Kurven zur Löslichkeit, Erstarrungstemperatur u. ä.). Desgleichen fehlt das historische Moment, dessen didaktischer Wert neuerdings besonders von OSTWALD betont wurde, nahezu ganz; die Literaturangaben halten sich in sehr mäßigen Grenzen. Die Technik tritt ebenfalls stark zurück, so werden z. B. vom Solvay-Sodaverfahren in wenigen Zeilen nur die Grundzüge angegeben, ohne erläuternde Gleichungen und technische Besonderheiten. Auch die Kolloidchemie, deren Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Gesamtunterricht stetig wächst, ist im Zusammenhange nur in einigen Grundzügen, auf knapp 12 Seiten, behandelt. Dem stehen jedoch erhebliche, besonders auf theoretischem Gebiet liegende Vorzüge gegenüber. In systematischer Hinsicht ist auch für die Schulmethodik interessant, daß die Verbindungen nicht nach der Reihenfolge der Elemente, sondern meist nach ihren negativen Bestandteilen gruppiert sind; es werden hier also ähnliche Wege beschritten, wie wir sie in der modernen Chemie von RAMSAY und in dem vorzüglichen Lehrbuche von M. TRAUTZ *(ds. Ztschr. 35, 290; 36, 150)* näher kennzeichnen konnten. Alles in allem ist das Buch als ein weiteres wertvolles Hilfsmittel zu intensivem Studium der Chemie zu bezeichnen. *O. Ohmann.*

Tafeln zum Bestimmen der Mineralien mittels äußerer Kennzeichen. Von Dr. A. LEHNER. Berlin, Ver. wiss. Verleger, 1921. 72 S. (M. 10.)

Die Unzulänglichkeit der Mineralbestimmung nach äußeren Merkmalen, also bei derbem Material im wesentlichen nach Farbe, Strich und Härte, ist allbekannt. Trotz aller Sorgfalt in der Durchführung, auch hinsichtlich der Rubriken „Kristalle und Aggregate“ und „Vorkommen“, können wir der Schrift für den Unterricht an höheren Lehranstalten kaum einen Wert beimessen. Die Bestimmung nach chemischen Merkmalen gewährt eine ungleich größere Sicherheit und führt zu viel wertvolleren Einsichten. Ein Mangel ist es, daß im Buche die gerade auch in der Wissenschaft üblichen Namen wie Glimmer, Feldspat, Salpeter, Magnetkies, Zinkblende usw. gänzlich fehlen; wer spricht z. B. bei den beiden letzteren von „Pyrrhotin“ und „Sphalerit“? Ganz unzulässig ist es aber, die echten Mineralnamen Salpeter und Natronsalpeter durch die nur die reine chemische Substanz bezeichnenden Ausdrücke „Kalium- und Natriumnitrat“ zu ersetzen. Der Mineralogie werden durch solche Verfahren keine neuen Freunde zugeführt. *O.*

Grundriß der Photochemie in elementarer Darstellung als Einführung in das Studium. Von Prof. Dr. J. PLOTNIKOW, Techn. Hochsch. zu Agram. Mit 34 Fig. Berlin 1923, W. de Gruyter & Co. 196 S.

Die anregend geschriebene Arbeit gibt einen trefflichen Überblick über die bisherigen Forschungsergebnisse, Gesetze und Theorien, hält aber den Blick stets auch auf die technischen Anwendungen gerichtet. Ebenso ist das Geschichtliche weitgehend berücksichtigt. Kurz, die Schrift ist zur Einführung in das interessante, auch für den gesamten naturwissenschaftlichen Unterricht wichtige Gebiet vorzüglich geeignet.
O. Ohmann.

Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Von Prof. Dr. E. v. LIPPMANN. Mit 2 Abb. Berlin, J. Springer, 1923. 314 S. 8 Goldmark, geb. 9,50 Goldmark.

Im vorliegenden Sammelbande hat der Verf. 36 seiner schwer zugänglichen, in der Chemiker-Zeitung, in der Zeitschrift für angewandte Chemie und anderwärts in der Literatur zerstreuten Abhandlungen dankenswerter Weise zusammengefaßt. Hier finden sich u. a. die hervorragenden Beiträge zur Geschichte des Alkohols, ferner Mitteilungen über Chemisches und Technologisches aus kunstgeschichtlichen Quellenschriften, über chemische Papyri des 3. Jahrhunderts, verschiedenes zum Zeitalter der Alchimisten, sowie bedeutsame Schriften zur Entwicklung der Zuckerindustrie, des praktischen Betätigungsgebietes des Verfassers. Auch Goethes Beziehungen zur Chemie werden mehrfach berührt. Den Schluß bildet ein inhaltreicher Aufsatz zum 100jährigen Geburtstage Robert Mayers (1914). Keiner wird das auf tiefgründiger Forschungsarbeit beruhende Buch zur Hand nehmen ohne nachhaltige Anregungen und besonderen Genuß daraus zu entnehmen. Auch zur Bereicherung des chemischen Unterrichts ist es von großem Werte.
O. Ohmann.

Heizkunde im Haushalt. Ein Hilfsbuch für Schule und Haus. Von Ingenieur R. KNOBLICH. 2. durchgesehene Auflage. Mit 23 Bildern.

Hannover, Helwigsche Verlagsbuchh. 1923. 60 S. GZ. 0,9.

Das Schriftchen ist unter Mitwirkung der Kohlenwirtschaftsstelle vom Heizamt der Stadt Hannover herausgegeben, es schließt sich an die in dieser Zeitschrift 1923, S. 72 angegebenen Schriften an und gibt kurze klar geschriebene Anleitungen über sparsame Bewirtschaftung der Brennstoffe. Es ist insbesondere für Knaben und Mädchen des letzten Schuljahres bestimmt, wird aber auch vielen Erwachsenen willkommen sein und seinen Teil zur Bekämpfung der Notlage unseres Vaterlandes beitragen. *P.*

Der eiserne Zimmerofen. Handbuch für neuzeitliche Wärmewirtschaft im Hausbrand. Herausgegeben von der Vereinigung deutscher Eisenofenfabrikanten E. V. München und Berlin, R. Oldenbourg, 1923. Mit 56 Abbild. 119 S. GZ. 1,90.

Das Buch gibt Auskunft über die verschiedenen Systeme und den besten Betrieb eiserner Öfen. Die Grundsätze rationeller Heizung werden dargelegt und auf die verschiedenen Ofenarten angewandt; auch die Ursachen mangelhafter Ausnützung des Brennmaterials werden besprochen und die Mittel zur Abhilfe angegeben. Das Buch ist für jeden, der sich eines eisernen Ofens zum Heizen bedient, von größter Wichtigkeit. *P.*

Kreislauf der Energie in Natur und Technik. Von Dr. Alfred Wenzel. (Die Bücherei der Volkshochschule, herausgeg. von Min.-Dir. R. Jahnke, Bd. 44). 118 S. Bielefeld und Leipzig, Velhagen und Klasing, 1923.

Eine reichhaltige und zuverlässige Zusammenstellung von Unterrichtsstoff in klarer Darstellung, durch geschickt ausgewählte Abbildungen erläutert. Auch als Unterlage für Volkshochschulvorträge empfehlenswert. *P.*

Vereine und Versammlungen.

Die Gründung und erste Hauptversammlung der Kolloidgesellschaft.

Am 15. September 1922 versammelten sich im Physikalisch-chemischen Institut der Universität Leipzig über 250 Vertreter und Interessenten der reinen und angewandten Kolloidchemie zwecks Begründung einer „Kolloidgesellschaft". Herr Wo. Ostwald legte die Gründe dar, die eine Zusammenfassung aller an der Ausbildung der Kolloidchemie beteiligten Kräfte als wünschenswert erscheinen ließen, und zwar eine Zusammenfassung in Gestalt einer besonderen Organisation, nicht nur als eine Unterabteilung bestehender Organisationen. Besonders betont wurde die Zusammengehörigkeit von reiner und angewandter Wissenschaft. „Wir Theoretiker und Praktiker, wir müssen voreinander bestehen können." Herr Abderhalden (Halle) sprach als Vertreter des Interessentenkreises der Mediziner und Biologen über die Zweckmäßigkeit des Gründungsplanes, Herr Stiasny (Darmstadt) als Vertreter der technischen Kolloidchemiker zum gleichen Thema. Zum ersten Vorsitzenden der neuen Gesellschaft wurde Herr Wo. Ostwald gewählt (durch Zuruf), zu 2. Vors. die Herren Abderhalden und Stiasny, zum Schatzmeister Herr Th. Steinkopff (Leipzig), zum Geschäftsführer Herr Dr. A. Kuhn (Leipzig, Linnestr. 2). Zum Vorstandsrat gehören die Herren Wo. Pauli, H. Freundlich, M. H. Fischer, O. Röhm, A. Imhausen, L. Michaelis, H. Schade, R. Szigmondy und G. Wiegner. Organ der Kolloid-Gesellschaft ist die „Kolloid-Zeitschrift" (Herausgeber Wo. Ostwald, Verlag Th. Steinkopff). Mit der Gründung war eine viertägige Tagung verknüpft mit einer großen Reihe von Vorträgen und einzelnen Vorführungen. Inzwischen ist die 2. Hauptversammlung für den 29. Sept. bis 1. Okt. in Jena angesetzt worden. Auf ihr werden Preise der Kolloid-Gesellschaft zur Verteilung gelangen. Vgl. hierzu die Besprechung des Sonderheftes „Kolloidchemie der Gegenwart" in ds. Heft S. 280. *O. Ohmann.*

Aus Werkstätten.

Ersatzschirme für Röntgenversuche. Statt des früher ausschließlich benutzten Bariumplatincyanürschirms wird neuerdings vielfach, namentlich zu medizinischen Zwecken, der Siriusschirm verwendet, dessen Leuchtmasse hauptsächlich aus Urannitrat bestehen soll. Der Schirm steht nach dem Urteil der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin dem Bariumplatincyanürschirm für Röntgenvorführungen in keiner Weise nach, ist daher auch im Schulunterricht an Stelle des letzteren gut verwendbar und hat vor diesem den Vorzug weit geringeren Preises; auch zeichnet er sich durch unveränderte Haltbarkeit aus im Gegensatz zu der Wärme- und Druckempfindlichkeit des Platinsalzes. Er hat jedoch den Nachteil, daß er in kurzwelligem Licht keine Fluoreszenz zeigt, was übrigens auch bei stark lackierten Bariumplatincyanürschirmen nicht der Fall ist, da die Lackschicht die kurzwelligen Strahlen größtenteils verschluckt. Man tut gut sich für diesen Zweck einen kleinen schmalen Bariumplatincyanürschirm zu beschaffen (allenfalls genügt die Größe 3 cm × 10 cm), der aber unlackiert sein muß. Die Schicht des Leuchtstoffes braucht nicht so dick zu sein wie in der Regel bei Bariumcyanürschirmen; man klebt den Schirm, am besten mit weißem Rande versehen, auf die

Innenseite eines Pappdeckels, so daß er beim Zuklappen gegen Verletzungen und Licht geschützt ist.

Die Fabrik physikalischer Lehrapparate von Ernst Albert Schmidt in Berlin N 37, Weißenburger Straße 20 erbietet sich, an Schulen vorhandene Röntgenschirme der älteren Art gegen Siriusschirme unter Zuzahlung einer beträchtlichen Vergütung für das Platin des Bariumplatincyanürs umzutauschen. Ein solcher Umtausch dürfte sich empfehlen, wenn die Vergütung dem jeweiligen Platinpreise entspricht. Der Platingehalt kann je nach der Dicke der aufgetragenen Leuchtschicht sehr verschieden sein, der genaue Betrag ließe sich indes nur in einer Platinschmelze feststellen, was aber die Zerstörung des Schirmes erfordern würde.

Auch der sog. „Astralschirm" kommt als Ersatz des Bariumplatincyanürschirms in Betracht. *P.*

Kosmos-Baukasten Elektrotechnik. Von Reallehrer WILHELM FRÖHLICH. Franckhsche Verlagshandlung, Stuttgart; Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde. Preis 580000 M. fr.-bl.

Ein Holzkasten von der Größe 44×9×6 cm³ enthält 34 Teile als Grundstock der Hilfsmittel für das Anstellen von magnetischen und elektrischen Versuchen. Dazu werden in einer gedruckten Anleitung 344 Versuche und Vorschriften geboten, die sich im Verhältnis 1:1:5 auf Magnetismus, statische und dynamische Elektrizität beziehen. Die Auswahl der Bauteile ist zweckmäßig. Aber schon bei der Prüfung der fertigen Geräte, deren Ausführung die Mängel von Massenartikeln zeigt, wird der auf das richtige Arbeiten seiner Vorrichtungen bedachte Bastler ein ausgedehntes Feld zu eigener Betätigung finden. Es ist nicht empfehlenswert, den Voltaschen Becher und die Chromsäurezelle in so weitgehendem Maße als Stromquellen zu benutzen, wie es die Anleitung vorschlägt. Besser wird sich z. B. ein Gnom-Element bewähren, das sich außerdem billiger stellt.

Eine große Anzahl von Versuchen, die wohl nur dem lückenlosen Lehrgebäude zuliebe aufgenommen sind, dürften den jungen Forscher von 11—17 Jahren, dessen häusliche experimentelle Tätigkeit der Baukasten leiten will, recht enttäuschen. Der Abschnitt über Funkentelegraphie sollte ganz gestrichen werden, denn hier findet sich nur das wegen seiner Unzuverlässigkeit und Blindheit von den Funkern am meisten verwünschte Gerät, der Branlysche Wellenanzeiger. Der Baukasten eignet sich weder für den darbietenden Unterricht noch für planmäßige Übungen in der Schule. NOACK fordert *(diese Zeitschrift, Jahrgang 1918, S. 151)* mit Recht, daß die Experimentierkästen das plan- und ziellose Spielen in geordnete Bahnen lenken und unmerklich zur zielbewußten Arbeit machen sollen. Dazu seien statt loser Aneinanderreihung meist qualitativer Versuche dem Schüler Aufgaben und Probleme vorzulegen, die ihn in die Methoden der Forschung einführen. Der elektrotechnische Baukasten wird in seinen Anleitungen dem modernen Begriff der Problemphysik nicht gerecht. Immerhin kann die Beschäftigung mit ihm dazu beitragen, den Experimentiertrieb der heranwachsenden Jugend anzuregen.

In Vorbereitung befindet sich ein Baukasten für Optik. *Mth.*

Korrespondenz.

Zum Resonanzversuch nach Lodge (vgl. Heft 2 d. Jahrg. S. 119) macht Herr Dr. ZINGLÉ in Köln den Vorschlag, die Funkenstrecke durch eine Neonentladungsröhre zu überbrücken. Die Benutzung einer kleinen Vakuumröhre hat schon K. NOACK *(ds. Zeitschr. 15. 95)* empfohlen, auf die Verwendung der Neonglimmlampe weist auch L. BERGMANN *(ds. Zeitschr. 35. 168)* hin.

Zum Verschiebungsstromnachweis nach E. KOCH *(d. Zeitschr. 34, 56)*.

Herr Prof. EMDE machte mich brieflich darauf aufmerksam, daß die Wirkung auf die Spule auch von den Zuleitungsströmen in den Kondensatorplatten herrühren könne. Auch die KOCHsche Fortsetzung (Intensitätszunahme, bei Einfügung eines Dielektriks, in der Ordnung der Dielektrizität) ist diesem Einwand unterworfen, da diese Ströme ebenfalls wie die Kapazität zunehmen. Man kann aber ihr Magnetfeld bei symmetrischer Anordnung unwirksam machen, indem man Zu- und Ableitung polarsymmetrisch zum Mittelpunkt des Kondensators, also an den Endpunkten einer Raumdiagonale des Kondensators anbringt. Dann fließen die ungleichnamigen Ladungen in den beiden Platten, vollkommene Gleichheit vorausgesetzt, stets gegenläufig, wirken also magnetisch wie gleichgerichtete Ströme, deren Felder in gleichen Abständen von den Platten entgegengesetzte Induktionswirkung haben.

H. Hermann, Tübingen.

OTTO LEHMANN, † 15. Juni 1922, war am 13. Januar 1855 in Konstanz geboren, seit 1889 ord. Professor der Physik an der technischen Hochschule zu Karlsruhe. Dem physikalischen Unterricht hat er durch die Neubearbeitung von Fricks Physikalischer Technik einen hervorragenden Dienst erwiesen und darin seine reichen Erfahrungen im Experiment, wie auch zahlreiche wertvolle didaktische Hinweise und Anregungen niedergelegt. *P.*

HANS GEITEL, † 15 .August 1922 als ord. Honorarprofessor an der technischen Hochschule zu Braunschweig. Er und sein im Tode ihm vorangegangener Gefährte JULIUS ELSTER waren ein leuchtendes Dioskurenpaar, auf das die Lehrer der Physik an höheren Schulen mit Recht stolz sein durften. Unsere Zeitschrift verdankt Geitel einen Aufsatz über Apparate und Versuche zur Luftelektrizität *(28, 65)*. *P.*

Himmelserscheinungen im Januar und Februar 1924.

Stundenzählung astronomisch. 0^h = Mittag, 12^h = Mitternacht, z. B. Januar 11, $20^h\,7^m$ = Januar 12, $8^h\,7^m$ vormittags bürgerlich; Januar 6, $29^h\,34^m$ = Januar 7, $5^h\,34^m$.

MEZ 0^h		Januar 1	6	11	16	21	26	31	Februar 5	10	15	20	25	März 1
☿	AR	$20^h\,2^m$	20.1	19.41	19.14	18,57	18.56	19.7	19.26	19.50	20.17	20.46	21.16	21.47
	D	$-20,8^0$	−19,4	−18,8	−18,9	−19,5	−20,3	−20,9	−21,2	−21,1	−20,5	−19,4	−17,7	−15,5
♀	AR	$20^h\,42^m$	21.7	21.32	21.56	22.20	22.43	23.5	23.27	23.49	0.11	0.33	0.54	1.16
	D	$-20,1^0$	−18,3	−16,1	−14,3	−12,1	−9,7	−7,2	−4,7	−2.1	+0,5	+3,2	+5,8	+8,3
☉	AR	$18^h\,43^m$	19.5	19.26	19.48	20.9	20.30	20.51	21.11	21.31	21.51	22.10	22.30	22.48
	D	$-23,1^0$	−22,6	−21,9	−21,1	−20,1	−19,0	−17,7	−16,2	−14,7	−13,0	−11,3	−9,5	−7,6
♂	AR	$15^h\,4^m$	15.17	15.30	15.43	15.56	16.10	16.23	16.37	16.50	17.4	17.18	17.31	17.45
	D	$-16,6^0$	−17,5	−18,3	−19,1	−19,9	−20,5	−21,1	−21,7	−22,2	−22,6	−22,9	−23,2	−23,4
♃	AR	$16^h\,26^m$		16.35		16.43		16.50		16.57		17.3		17.8
	D	$-21,0^0$		−21,3		−21,6		−21,8		−22,0		−22,1		−22,2
♄	AR	$13^h\,59^m$				14.3				14.4				14.3
	D	$-9,5^0$				−9,8				−9,9				−9,7

Δ = Sternzeit i. mittl. Mittag v. Stargard; für östl. bzw. westl. Länge λ^0 v. Greenwich

$$\mp\ \lambda \cdot 0.657^s + 9{,}86^s$$

Zeitgl. = Mittl. Z. − Wahre Z.

Δ	$18^h\,39^m\,20^s$	18. 59.3	19. 18.45	19. 38.28	19. 58.11	20. 17.54	20. 37.37	20. 57.19	21. 17.2	21. 36.45	21. 56.28	22. 16.10	22. 35.53
Zeitgl.	$+3^m\,11^s$	+5.31	+7.39	+9.33	+11.10	+12.28	+13.27	+14.5	+14.23	+14.21	+14.0	+13.22	+12.30

Breite von Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Untergang u. folg. Aufgang d. ob. ☉-Randes. MEZ.

☉ Unterg.	$3^h\,56^m$	4.1	4.9	4.16	4.24	4.33	4.43	4.51	5.1	5.11	5.20	5.30	5.39
☉ Aufg.	$20^h\,11^m$	20.10	20.7	20.3	19.58	19.51	19.43	19.36	19.27	19.18	19.7	18.56	18.45

Breite von Berlin (52° 30′). Länge v. Stargard. Aufgang u. folg. Untergang d. ob. ☾-Randes. MEZ.

☾ Aufg.	$14^h\,47^m$	20.28	23.1	0.36	4.10	10.0	16.16	20.12	22.12	0.18	5.16	11.39	16.58
☾ Unterg	$25^h\,11^m$	29.34	35.25	15.37	19.53	22.20	25.12	30.46	36.21	16.15	19.29	21.49	26.6

Mondphasen MEZ	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	Jan. 6. $1^h\,47{,}7^m$	Jan. 13. $11^h\,44{,}5^m$	Jan. 21. $13^h\,56{,}7^m$	Jan. 28. $18^h\,52{,}9^m$
	Febr. 4. $14^h\,38{,}3^m$	Febr. 12. $9^h\,9{,}0^m$	Febr. 20. $5^h\,7{,}2^m$	Febr. 27. $2^h\,15{,}2^m$
	März 5. $4^h\,57{,}7^m$			

Verfinsterungen der Jupitertrabanten I, II, III. E: Eintritt, A: Austritt. MEZ.

I		II	III
Jan. 15. $18^h\,12{,}4^m$ E	Febr. 7. $18^h\,21{,}9^m$ E	Febr. 1. $17^h\,30{,}6^m$ E	Febr. 5. $16^h\,0{,}9^m$ E
31. $16^h\,28{,}3^m$ E	„ 23. $16^h\,37{,}3^m$ E	26. $16^h\,47{,}8^m$ A	5. $18^h\,8{,}3^m$ A

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin. Länge v. Stargard.

MEZ	☿	♀ Abendstern	♂ (Wg, Sk, Sch)	♃ (Wg, Sk)	♄ (J)
Jan. 1.	D_a $5{,}1^h$ U $5{,}5^h$	D_a 4,5 U 6,3	A 15,8 D_m 19,0	A 17,6 D_m 19,1	A 14,0 D_m 18,9
„ 11.	(4,7)	D_a 4,6 U 6,8	A 15,8 D_m 18,9	A 17,2 D_m 19,1	A 13,4 D_m 18,9
„ 21.	Morgenstern	D_a 4,9 U 7,3	A 15,7 D_m 18,8	A 16,7 D_m 19,0	A 12,8 D_m 18,8
„ 31.	(18,8)	D_a 5,2 U 7,9	A 15,7 D_m 18,5	A 16,2 D_m 18,7	A 12,2 D_m 18,5
Febr. 10.	$D_a 18{,}5^h$ $D_m 18{,}6^h$	D_a 5,4 U 8,4	A 15,6 D_m 18,3	A 15,7 D_m 18,5	A 11,6 D_m 18,3
„ 20.	—	D_a 5,7 U 8,9	A 15,5 D_m 17,9	A 15,1 D_m 18,1	A 10,9 D_m 17,9
März 1.	—	D_a 6,0 U 9.5	A 15,4 D_m 17,5	A 14,5 D_m 17,7	A 10,2 D_m 17,5

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden i. d. Dämmerung.

Mars in Konjunktion mit **β-Scorpii**, Jan. 22. 18^h. Mars 31′ südl.

Merkur in gr. westl. Elong. (25° 30′) Februar 5. 3^h.

Mars in Konjunktion mit **Jupiter**, Februar 13. 6^h.

Sternbedeckungen: Aldebaran, Januar 17. $9^h\,5.8^m$.

A. Weiß.